



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA EN MINAS, METALURGIA Y  
GEOLOGÍA

***“DISEÑO, PREPARACIÓN Y EXPLOTACIÓN DE UN  
BLOQUE MINABLE CON BARRENACIÓN LARGA DE  
TUMBE POR SUBNIVELES EN EL ÁREA 695, MINA  
ORIENTE DE LA UNIDAD MINERA FRESNILLO,  
MUNICIPIO DE FRESNILLO, ZACATECAS, MÉXICO.”***

TRABAJO DE EJERCICIO PROFESIONAL

PROYECTO QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO  
DE MINAS

PRESENTA:

LUIS RICARDO LÓPEZ DEL REAL

GUANAJUATO, GTO, - ENERO – 2019

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres, Ricardo y Adriana quienes me han brindado su apoyo incondicional en todo momento de mi vida, quienes gracias a su amor, paciencia y confianza y todo el esfuerzo y sacrificios que hicieron para alcanzar este objetivo y el haber logrado llegar a donde estoy, impulsándome día a día por lo cual estaré eternamente agradecido.

A mis hermanos: Daniela y Bruno que siempre estuvieron al pendiente de mis logros.

A mis hijos Ema y Adrián que han sido el mayor impulso para lograr cualquier objetivo en mi vida.

A mi compañera de vida, mi esposa Ma. Del Rosario, quien ha estado conmigo en las buenas y malas, quien comparte conmigo un largo camino que apenas está comenzando.

A la Universidad de Guanajuato, la Facultad de Ingeniería de Minas, Metalurgia y Geología y a todos los profesores que me brindaron sus conocimientos, experiencias y consejos que han sido parte fundamental en mi desarrollo profesional.

A la empresa Fresnillo PLC, la cual me abrió las puertas y me enorgullece laborar en dicha empresa.

## Contenido

I. INTRODUCCIÓN.....	6
II. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE FRESNILLO, GRUPO PEÑOLES Y FRESNILLO PLC .....	7
2.1 LOCALIZACIÓN.....	7
2.2 HISTORIA DE LA CIUDAD DE FRESNILLO .....	8
2.3 INICIOS DEL GRUPO PEÑOLES.....	8
2.4 INICIOS DE FRESNILLO PLC .....	10
2.5 CLIMA, ECONOMÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN.....	11
2.5.1 Clima .....	11
2.5.2 Economía.....	11
2.5.3 Vías de comunicación.....	12
2.6 FLORA Y FAUNA .....	13
2.6.1 Flora .....	13
2.6.2 Fauna .....	13
II MARCO GEOLÓGICO REGIONAL .....	14
3.1 ESTRATIGRAFÍA .....	14
3.2 MINERALOGÍA .....	18
3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES VETAS. ....	19
3.3.1 Veta Santo Niño.....	19
3.3.2 Veta San Ricardo.....	20
3.3.3 Veta Santa Cruz .....	20
3.3.4 Veta San Carlos.....	20
3.3.5 Veta San Mateo .....	21

3.3.6 Veta Ramal 8.....	21
3.3.7 Veta San Diego.....	22
3.4 PARAGENESIS Y ZONEAMIENTO.....	23
3.5 DEPÓSITO DE MINERALES.....	24
IV. MÉTODO DE MINADO DE TUMBE POR SUBNIVELES TRANSVERSALES .....	27
.....	27
4.1 GENERALIDADES .....	27
4.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN LARGA .....	28
4.2.1 Justificación para utilizar la barrenación larga por subniveles.....	28
4.2.2 Consideraciones en la selección de un sistema de barrenación larga.....	28
4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE BARRENACIÓN LARGA.....	46
4.3.1 Ventajas.....	46
4.3.2 Desventajas .....	46
V. PREPARACIÓN DEL BLOQUE MINERAL.....	48
5.1 DESCRIPCIÓN .....	48
5.2 PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE REBAJES DE BARRENACIÓN LARGA.....	49
5.2.1 Geología .....	49
5.2.2 Planeación .....	50

5.2.3 Operación mina .....	50
5.3 PLANEACIÓN.....	52
5.3.1. Planeación del desarrollo .....	53
5.3.2 Preparación del rebaje.....	60
5.3.3 Plantillas de barrenación.....	63
5.3.4 Cálculo de plantilla de barrenación y factor de carga ...	67
5.4 OPERACIÓN .....	71
5.4.1 Nivelación y posicionamiento del simba .....	71
5.4.2 Secciones .....	72
5.4.3 ¿Qué nos dice la pantalla? .....	73
5.4.4 Velocidad de rotación .....	75
5.4.5 Presión de avance .....	77
5.4.6 ¿Qué pasa cuando nos encontramos con “choyas”? ...	78
5.4.7 ¿En qué nos afecta el relleno durante la barrenación? ..	79
5.5 BARRENACIÓN.....	79
5.5.1 Voladuras.....	81
5.6 EXTRACCIÓN (REZAGADO) .....	90
VI CONCLUSIONES .....	93
VII BIBLIOGRAFIA .....	94

## I. INTRODUCCIÓN

El Distrito Fresnillo está localizado en la parte central de la república mexicana, 750km al noroeste de la ciudad de México y a 60km al noroeste de la Ciudad de Zacatecas. Es un depósito de plata de clase-mundial que incluye vetas epitermales, cuerpos de reemplazamiento, skarns y un stockwork oxidado cerca de la superficie en el Cerro Proaño. El distrito se localiza en la parte norte de un cinturón de tendencia norte-noroeste de depósitos de plata-plomo-zinc que se extienden para más de 800km e incluyen los distritos mineros de Sombrerete, Fresnillo, Zacatecas, Real de Ángeles, Guanajuato, Pachuca y Taxco.

La Mina de Fresnillo es el productor de plata más grande en el mundo, desde el siglo pasado Fresnillo ha producido aproximadamente 700 millones de onzas de plata y desde 1988 es el mayor productor de plata.

Actualmente (2018) tiene un presupuesto promedio mensual de producción de 221,000 toneladas con una ley de 2.611 gr/ton de Au y 180 gr/ton de Ag.

Las vetas han sido la fuente principal de mena en Fresnillo. Su ancho varía de unos centímetros a más de diez metros. El zoneamiento vertical favorable para el desarrollo de mineralización de mena en las vetas del área San Luis es aproximadamente de 300 m a 700 m y empieza 200 m debajo de la superficie; horizontalmente algunas se pueden seguir hasta por cinco kilómetros.

Los minerales de mena en las vetas son un intercrecimiento complejo de sulfuros de metales base de grano fino y sulfosales de plata. Los minerales de sulfuros y sulfosales identificados en orden de abundancia son pirita, esfalerita, galena pirargirita, polibasita, calcopirita, arsenopirita, tetrahedrita, argentita/acantita, estefanita, proustita. Los minerales de ganga incluyen cuarzo, calcedonia, calcita clorita y arcillas.

La Unidad Minera está dividida en Mina Poniente que a su vez tiene en operación las minas de San Alberto y Candelaria y la Mina Oriente (San Luis), que cuenta con las minas: San Ricardo, Vetas Nuevas, San Carlos y San Carlos Nivel 695, siendo esta última la mina de nuestro interés, por representar la profundización de la veta del mismo nombre

## **II. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LA CIUDAD DE FRESNILLO, GRUPO PEÑOLES Y FRESNILLO PLC**

### **2.1 LOCALIZACIÓN**

El Distrito Minero de Fresnillo se localiza en la parte central del Estado de Zacatecas, México; aproximadamente a 60km al noroeste de la Ciudad de Zacatecas, sus coordenadas geográficas 23°10'29'' de latitud Norte y 102°52'39'' de longitud Oeste con una elevación sobre el nivel del mar de 2200 m. El Distrito es de fácil acceso por la carretera Panamericana, el Aeropuerto Internacional está localizado a 35 km. al suroeste de Fresnillo.



Figura 1. Mapa mostrando la localización del Distrito Minero Fresnillo.

## 2.2 HISTORIA DE LA CIUDAD DE FRESNILLO

La historia de Fresnillo empieza entre los años de 1550 Y 1552 aunque no se cuenta con la fecha exacta, de acuerdo a los acontecimientos que se tienen registrados, sí podemos ubicarla precisamente en esa época, cuando Diego Fernández de Proaño, en una de las incursiones que hizo en la región, en la búsqueda de nuevas minas, llega al lugar que conocemos ahora con el nombre de "Cerro de Proaño", donde se descubre a flor de tierra evidencias de mineral.

## 2.3 INICIOS DEL GRUPO PEÑOLES

Peñoles nació en el México Independiente del siglo XIX y a lo largo de su existencia ha sido testigo de los sucesos contemporáneos más importantes del país. Peñoles se enorgullece de haber contribuido al desarrollo de México en muy



diversas maneras: invirtiendo, generando empleos directos e indirectos y desarrollando infraestructura en las comunidades donde opera, sólo por mencionar algunas; llegando a ser actualmente una de las empresas más importantes de su sector a nivel mundial.

A continuación una breve referencia de la larga historia de Peñoles:

1887. Por iniciativa de un grupo de empresarios mexicanos nace Compañía Minera de Peñoles S.A., constituida en la ciudad de Durango, siendo las primeras minas en operación: Jesús María, Nuestra Señora del Refugio y San Rafael, ubicadas en la sierra de Peñoles, municipio de San Pedro el Gallo, Durango.

Figura 2. 1900. Se funda la compañía Metalúrgica de Torreón, a fin de operar una fundición ubicada en la ciudad de Torreón Coahuila

1961. Fue impulsada por el gobierno la mexicanización de la minería. Se fusionan las empresas Compañía Minera de Peñoles, S.A. y Compañía Metalúrgica de Peñoles, S.A., constituyéndose Metalúrgica Mexicana Peñoles, S.A.

1967. Es designado el Presidente del Consejo de Administración el Lic. Don Alberto Baillères. Grupo BAL se convierte en accionista mayoritario de Peñoles



1968. Se constituye Industrias Peñoles S.A. como empresa controladora, la que a su vez inicia su cotización en la Bolsa Mexicana de Valores.

2008. Peñoles reestructura sus operaciones mineras en dos grandes grupos: el de metales preciosos y el de metales base, quedando el primero bajo la empresa Fresnillo PLC, que incluye 3 minas en operación y proyectos de exploración relacionados. Fresnillo se convierte en la primer empresa mexicana en cotizar en la Bolsa de Valores de Londres colocando el 22.9% de su capital en dicho mercado.

#### **2.4 INICIOS DE FRESNILLO PLC**

El Estado de Zacatecas ha sido famoso por sus minas desde el tiempo de los españoles; en 1554 Diego Fernández de Proaño descubrió algunas de las vetas que afloraban en el Cerro y que hoy lleva su nombre “Cerro Proaño”. El Mineral de Fresnillo fue explotado normalmente desde 1717 a 1751 por mineros en pequeña escala, las operaciones fueron suspendidas en 1757 debido principalmente a problemas económicos causados por el agua en la mina. De 1835 a 1872 se adquirieron dos bombas Cornish impulsadas por vapor para desaguar las Minas. De 1913 a 1919 las operaciones se suspendieron debido a la Revolución

Mexicana. El tratamiento de mineral de sulfuros empieza en 1926 y continúa hasta hoy. La producción de la Mina Proaño ha ido en aumento desde la década de los 80's

Fresnillo PLC hizo su debut en la Bolsa de Valores de Londres en 2008, después de un historial exitoso, redituable y de décadas de duración como empresa minera. Debido a la historia como parte del Grupo Peñoles, los orígenes de Grupo Fresnillo se remontan al comienzo de las operaciones mineras de Peñoles en 1887 y las operaciones de fundición y refinación en Torreón en 1901.

## **2.5 CLIMA, ECONOMÍA Y VIAS DE COMUNICACIÓN**

Fresnillo es uno de los 58 municipios del estado de Zacatecas. La cabecera municipal es la ciudad de Fresnillo de González Echeverría. El municipio es el de mayor importancia económica y de mayor población en el estado y está localizado en el centro de éste a 60 km al norte de la capital.

### **2.5.1 Clima**

Predomina el clima templado regular, semi-seco en un 91.72% en su territorio, y templado sub-húmedo con lluvias en verano, y de menor humedad en el 8.28% del municipio. Las temperaturas promedio en el municipio son: Primavera 19° C. Verano 20° C. Otoño 15° C. Invierno 10° c.

### **2.5.2 Economía.**

El municipio de Fresnillo es el de mayor importancia económica del estado debido a su alta producción minera, y a su actividad comercial.

### 2.5.3 Vías de comunicación

El municipio está perfectamente comunicado desde cualquier parte de la República Mexicana; la cabecera municipal se comunica por carreteras: al norte con las ciudades de Durango, Torreón, Saltillo y Monterrey; al sur con las ciudades de Zacatecas, San Luis Potosí, Querétaro y Aguascalientes; al poniente con Jalisco y Nayarit.

Por ferrocarril se comunica con la vía nacional México-Cd. Juárez, actualmente solo en servicio de carga, la estación ferroviaria de San José se encuentra a 7 km al oriente de la Ciudad de Fresnillo por carretera estatal, en la comunidad conocida como Estación San José.

El Aeropuerto Internacional de Zacatecas que se encuentra a 33 Km hacia el sur de Ciudad de Fresnillo, en el municipio de Morelos, cuenta con vuelos a la Cd. de México, Tijuana, Cd. Juárez, Guadalajara, León, Aguascalientes y Morelia así como diferentes destinos de Estados Unidos de Norteamérica.

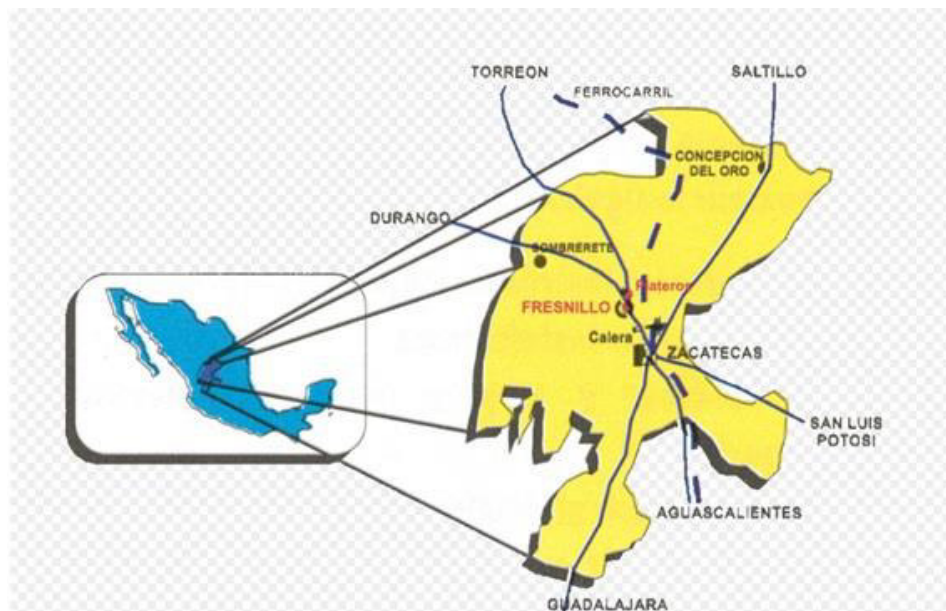


Figura 3. Principales vías de comunicación que cruzan Fresnillo.

## **2.6 FLORA Y FAUNA**

### **2.6.1 Flora**

En la mayor parte de su territorio predomina la vegetación del semi - desierto y de la clásica de las partes altas, como mezquites, huizaches, pinos y pinabetes, magueyes, palmas, y es rico también en las diversas variedades de plantas medicinales.

Agrícola: maíz, frijol, chile, durazno, cebada. Pastizal: Navajita, zacate banderilla, navajita velluda, zacatón liendrilla, zacate tres barbas. Bosque: Piñonero, roble, encino blanco, encino colorado. Matorral: Gobernadora, hojasén, nopal de duraznillo, mezquite, palma.

### **2.6.2 Fauna**

En la actualidad han desaparecido muchas especies de la fauna que originalmente poblaba nuestro territorio, pero todavía existen una gran variedad de aves y pequeñas especies, entre las que podemos mencionar: Palomas ahuilotas y de alas blancas, codornices comunes y las espinosas, guajolotes silvestres, aguilillas, halcones de pradera y peregrinos, y halconcillos, quebrantahuesos, gavilanes, aguilas reales. Están en proceso de extinción las auras o gallinazos, los zopilotes y los cuervos, y en temporada migratoria, contamos con los patos de collar, gansos blancos y los de Canadá, así como grullas grises y correcaminos.

De las pequeñas especies, ardillas de tierra, grises, rojas y voladoras, techadotes, ratas de campo y ratas canguro, liebres tordas, de panza blanca y las de cola negra, conejos, jabalís de collar, coyotes, zorras grises, norteñas, mapaches, comadreas,

tejones, linceos o gatos monteses, pumas, venados cola blanca, zorrillos, tlacuaches.

## II MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

### 3.1 ESTRATIGRAFÍA

En el área de Fresnillo se presenta una secuencia estratigráfica correspondiente a un dominio volcano-sedimentario de edad Jurásico Superior al Cretácico asociado a un arco y que regionalmente se conoce como terreno Guerrero. Caracterizado por la presencia de una asociación litológica de grauvacas, lutitas, calizas, conglomerados y material volcánico andesítico como son lavas andesíticas (almohadilladas) intercaladas con depósitos terrígenos y en forma subordinada con rocas calcáreas.

*Formación Chilitos.*- Las rocas verdes que afloran en el arroyo Chilitos son una secuencia de lavas andesíticas de color gris oscuro con tonalidades rojizas y verduscas, con formación de almohadillas, brechas de color verde rojizo y rocas volcánicas epiclásticas. La descripción de la secuencia son basaltos almohadillados de color verdoso y aglomerados andesíticos, intercalados con limolitas de color café olivo, grauvacas y lutitas. Los basaltos porfíricos son generalmente de color verde a café rojizo, conteniendo cristales de plagioclasa. La matriz consiste de clorita y ferromagnesianos. El color verde de los basaltos se piensa que está relacionado a una actividad hidrotermal submarina, posterior a su depositación en el piso marino. La edad para esta Formación Chilitos es de edad Jurásico Superior hasta el Albiano. La deformación prelaramídica encimó tectónicamente a la secuencia volcano-sedimentaria sobre si misma y esto se refleja

localmente en Fresnillo, en el ensamble que hoy se conoce como Grupo Proaño y Formación Chilitos.

El Grupo Proaño fue definido por Stone y McCarthy (1942), dividiéndolo en tres miembros; Grauvaca Inferior, Lutitas Calcáreas y Carbonosas y Grauvaca Superior correspondiendo a una edad del Cretácico Inferior.

Grauvaca Inferior.- Corresponde al miembro inferior del Grupo Proaño y consiste de una secuencia de grauvacas de grano medio color gris oscuro, con intercalaciones de lutitas calcáreas en estratos delgados y lentes de caliza. Este miembro no aflora, solo se puede ver en las obras mineras subterráneas del Distrito.

Lutitas Calcáreas y Carbonosas.- Corresponde al miembro medio del Grupo Proaño y se compone de una alternancia de lutitas calcáreo-carbonosas y calizas arcillosas estas son generalmente impuras lo que nos indica que el depósito ocurrió en un ambiente dominado por la depositación de terrígenos observándose todo este paquete muy tectonizado, estas rocas corresponden a una edad del Albiano superior.

Grauvaca Superior.- Corresponde al miembro superior del Grupo Proaño y consiste de areniscas masivas y una secuencia de areniscas y lutitas de estratificación fina. En algunos horizontes existe una alternancia de lutitas carbonosas, lutita, calizas y areniscas de estratificación fina, la edad de estas rocas se determinó en base a un estudio paleontológico asignándosele una edad de Cretácico Temprano.

*Formación Fresnillo.-* Se define como un depósito masivo de material conglomerático en el que un 30-40 % de la roca la

constituyen clastos de lutita, arenisca y pedernal, con tamaños que varían desde unos cuantos milímetros hasta 10 cm. Su base se puede observar en el área de la veta Santo Niño, los clastos son angulosos y subredondeados y es clasificado como una brecha sedimentaria en una matriz arenosa bien consolidada quedando su edad definida como del Paleoceno-Eoceno.

*Rocas Volcánicas.*- La secuencia volcánica de Fresnillo que se encuentra sobreyaciendo tanto a los sedimentos marinos como al conglomerado Terciario, está constituida por Riolitas y Tobas Riolíticas, se le determinó una edad que varía de 38.3 Ma. a 27.4 Ma.

*Rocas Intrusivas.*- Las rocas intrusivas que afloran en el área de Fresnillo ocurren como intrusiones pequeñas y su clasificación es cuarzomonzonita, con fenocristales de cuarzo y plagioclasa sódica, tiene una matriz afanítica de color gris a gris verdoso, formada de plagioclasa, cuarzo y feldespatos potásico. El apófisis mayor se encuentra en el área del tiro Fortuna. El rango de edad varía de los 33.5 Ma. a los 32.2 Ma. y por lo tanto correspondientes al Oligoceno tardío.



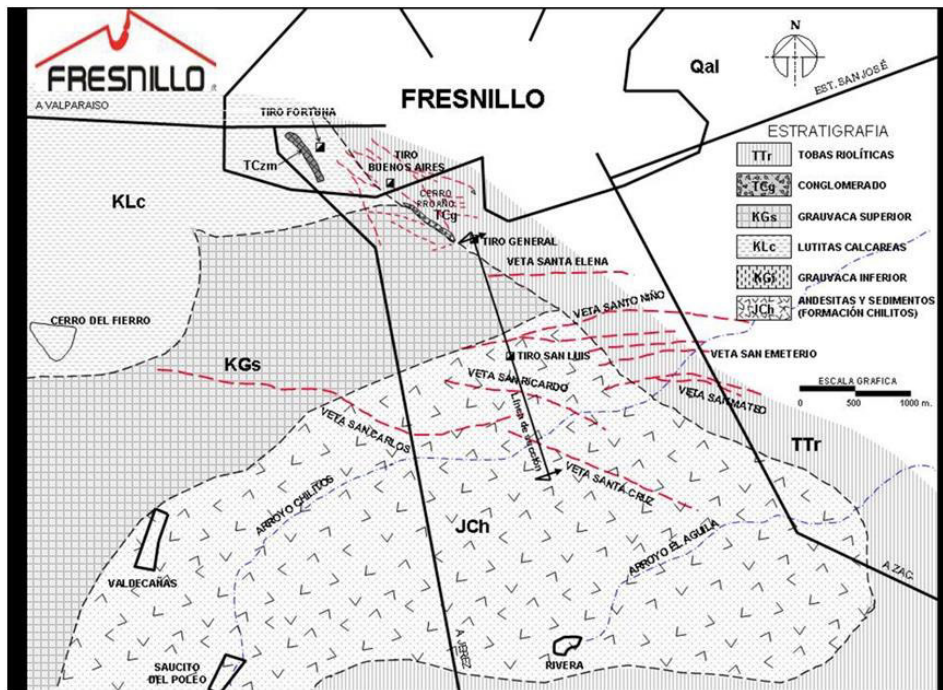


Figura 4. Mapa mostrando la estratigrafía y las principales vetas en el Distrito Fresnillo.

En el Distrito Minero de Fresnillo se tiene definidos dos sistemas estructurales de fracturas y fallas donde se emplazan los depósitos de vetas económicas:

- 1.- Sistema de vetas del Cerro Proaño con una dirección de vetas predominantemente NW-SE.
- 2.- Sistema de vetas Área San Luís con dirección predominante Este-Oeste, este sistema de vetas son ciegas y solamente se encuentran por debajo de 200 m. desde superficie.

Estos dos sistemas estructurales son tan suficientemente parecidos en texturas, composición química e isótopos que nos indican que las vetas son parte de un gran sistema formado al mismo tiempo y dentro del mismo esfuerzo de régimen regional.

Yacimientos Minerales: El yacimiento mineral del distrito Fresnillo se clasifica como del tipo epitermal en el que las vetas del área San Luís exhiben un estilo similar de desarrollo de vetas formadas en cuatro etapas de actividad hidrotermal.

Los cuerpos minerales económicos que se han explotado en el Distrito son: Stockwork, Diseminados, Mantos, Chimeneas y Vetas.

Las vetas son los cuerpos minerales más importantes del distrito; éstas fueron las que dieron origen al descubrimiento del mismo y son actualmente las que representan la mayor importancia económica en el distrito.

### **3.2 MINERALOGÍA**

Los minerales de cada una de las vetas en el Área San Luís exhiben una composición similar y estilo de desarrollo en vetas. Simmons y Gemell (1988), describieron en detalle la mineralogía de Santo Niño que consiste en un complejo intercrecimiento de sulfuros y sulfosales de grano fino a medio en ganga de cuarzo y calcita. Sulfuros hipogénicos y minerales de sulfosales identificados en la veta, en orden de abundancia son: pirita, esfalerita, galena, pirargirita, polibasita, calcopirita, arsenopirita, tetrahedrita, proustita, antimonpearcita, pirrotita, y polibasita de selenio. Marcasita argentita/acantita, estefanita y plata nativa han sido identificadas ambas como fases hipogénica y supergénica. En los niveles superiores las fracturas contienen limonita, hematina, óxidos de manganeso, malaquita, azurita y plata nativa. Los minerales de ganga incluyen cuarzo, calcedonia, calcita, clorita y arcillas.

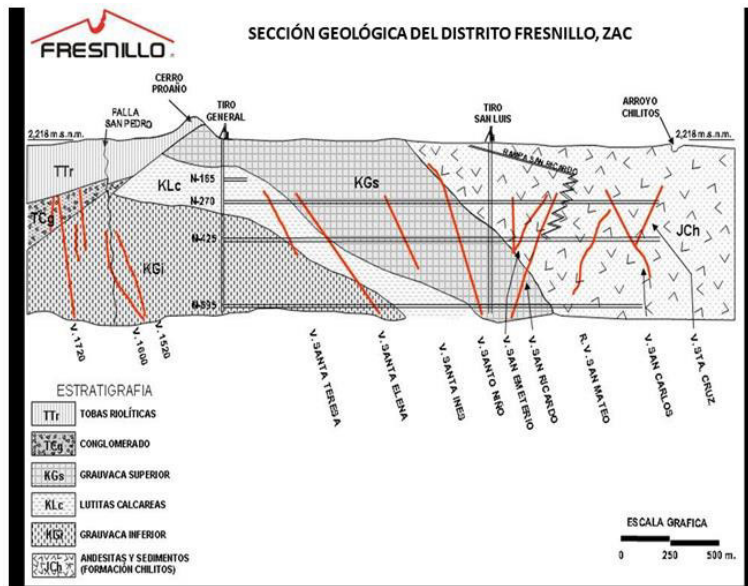


Figura 5. Sección mostrando la localización de las principales vetas en el Distrito Fresnillo.

### 3.3 DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES VETAS.

#### 3.3.1 Veta Santo Niño

Es una de las más importantes por su longitud y tonelaje extraído y ley promedio de Ag en todo el Distrito. Tiene un rumbo general N 75° E, con variaciones locales de  $\pm 20^\circ$  y una inclinación de 60° a 85° al S, el ancho de la veta varía desde 0.1 m a más de 6.0 m, teniendo en promedio 2.81 m y longitud de 2,500 m. Su descubrimiento se remonta al año de 1975 y se descubrió con barrenación de diamante desde superficie y posteriormente se fue intersectando con desarrollo de obra minera en los subsecuentes años. Los niveles que se han desarrollado son: del 215 al 695. Los minerales de mena son sulfuros y sulfosales que fueron depositados en una secuencia paragenética similar a lo largo de cuatro etapas mineralizantes y ocupan en promedio menos del 10% del relleno total. Los principales minerales de mena son:

pirargirita, polibasita, tetrahedrita, proustita, esfalerita, galena y argentita.

### 3.3.2 Veta San Ricardo

La veta San Ricardo es una estructura que se encuentra alojada en una brecha de falla de rumbo N 75° W, con buzamiento de 75° al NE, con longitud de 1200 m. y un ancho promedio de 2.86 m. Fue intersectada mediante el desarrollo del Xc-108-SE del Nivel 425, cuyo objetivo principal era el de llegar a la proyección de la veta Santa Cruz. La mineralogía consiste más en sulfuros de plomo y zinc con algo de sulfosales de plata.

### 3.3.3 Veta Santa Cruz

Es la estructura desarrollada más al sur de la mina, con rumbo promedio de N 78° W, echado de  $\pm 65^\circ$  al NE, tiene una longitud de 1500 m. aproximadamente y ancho promedio de 4.7 m. conocida con obra directa y barrenación a diamante. Está constituida mineralógicamente por cuarzo blanco, amatista y calcita de texturas coliforme con zonas de brechamiento y minerales de sulfuros y sulfosales de plata.

### 3.3.4 Veta San Carlos

En el año de 1997 al avanzar en el cuele de la obra en la veta San Miguel en el nivel 270 y con el antecedente del barreno SD-757 se inició la exploración en superficie de esta zona hacia el bajo para proyectar la estructura de la veta San Carlos y al intersectarse el área mineralizada se inició el desarrollo de los niveles 270 y 425. Es la estructura desarrollada más al surponiente de la mina, con rumbo promedio Este-Oeste en su parte oriente y con flexión de rumbo NW hacia el lado poniente, echado de  $\pm 65^\circ$  al SE y ancho promedio de 3.10 m, presenta una

textura bandeada en general con algunas zonas de brecha tanto al bajo como al alto de la estructura y está constituida mineralógicamente por sulfuros y sulfosales de plata como galena, esfalerita, argentita, polibasita y pirargirita. La exploración a la fecha en esta Veta con desarrollo de obra de varios niveles y subniveles y barrenos a diamante ya alcanza los 5550 m.

### 3.3.5 Veta San Mateo

Esta veta se localiza 600.0 m al alto del extremo oriente de la veta Santo Niño, la estructura presenta un rumbo general de S80°E, echado de  $\pm 75^\circ$  al Sur y ancho promedio de 1.76 m. su longitud conocida son aproximadamente 1000 m. con obra y barrenos de diamante. Esta estructura consiste de cuarzo y calcita de forma irregular con alteración clorítica y contenidos metálicos de oro importantes además de sulfuros de plomo, zinc y plata. Se ha desarrollado desde el nivel 270 al 530.

### 3.3.6 Veta Ramal 8

En el año de 2011 al realizar una cortina de barrenos al NW del distrito para ver la continuidad de la veta San Carlos se corta la estructura con el barreno SD-1508 el cual dio pauta para intensificar la exploración en superficie de esta zona, de infill en la estructura de la veta San Carlos posteriormente esta información se complementó con los barrenos SD-1524, SD-1531 Y SD-1533. Es la estructura desarrollada más al Norponiente de la mina, con rumbo promedio NW- SE  $56^\circ$ , echado de  $\pm 50-60^\circ$  al SW y ancho promedio de 1 m., la cual presenta textura bandeada en general con algunas zonas de brecha tanto al bajo como al alto de la estructura y está constituida mineralógicamente por sulfuros y sulfosales de plata como galena, esfalerita, y pirargirita, algunos minerales de ganga como pirita, bornita, cuarzo y calcita, entre sus



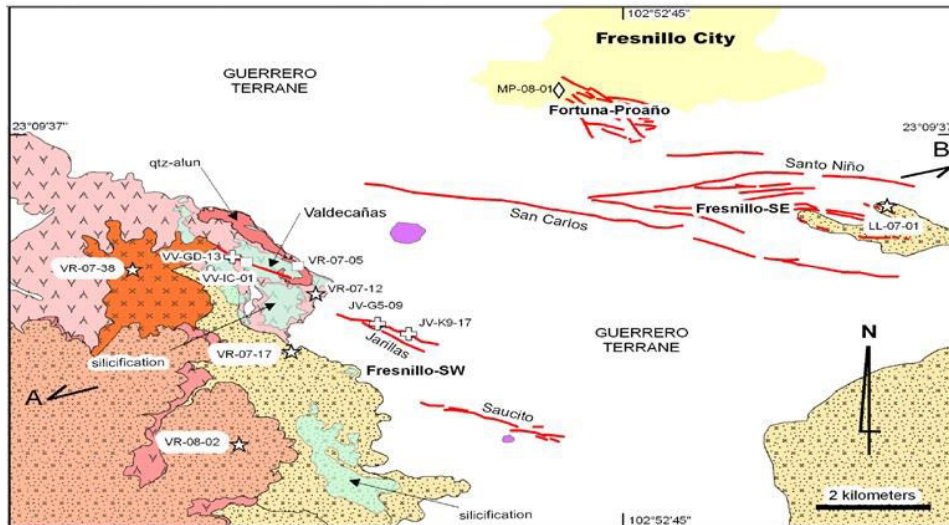


Figura 7. Distribución de vetas del Distrito Fresnillo

### 3.4 PARAGENESIS Y ZONEAMIENTO

La depositación mineral es dividida en cuatro fases paragenéticas: 1) pirita y arsenopirita, 2) esfalerita, galena, calcopirita, con una segunda generación de pirita y arsenopirita, 3) sulfuros y sulfosales de plata, y 4) sulfuros supergénicos y óxidos. La evolución paragenética de los minerales de sulfuros y sulfosales de plata es desde cobre-plata hasta plata nativa: a) tetrahedrita, polibasita y pirargirita, b) polibasita, pirargirita y estefanita, c) pirargirita y acantita, y d) acantita. La tetrahedrita fue la primer sulfosal en precipitar, inicialmente con calcopirita y subsecuentemente con pirargirita y polibasita. Pirargirita y polibasita reemplazaron generaciones tempranas de sulfuros y tetrahedrita, comúnmente rellenando fracturas delgadas y cavidades en otros minerales. Trazas de estefanita están asociadas con polibasita como un reemplazamiento pseudomórfico. Cantidades menores de acantita son principalmente intercrecimientos con una etapa tardía de pirargirita. El zoneamiento mineral es el siguiente: pirita, hematina

y acantita son más abundantes en las partes superiores de las vetas, esfalerita, pirargirita, polibasita y plata nativa son más abundantes en los niveles intermedios, pirrotita como inclusiones en esfalerita, galena, calcopirita, y arsenopirita se encuentran concentrados en los niveles inferiores.

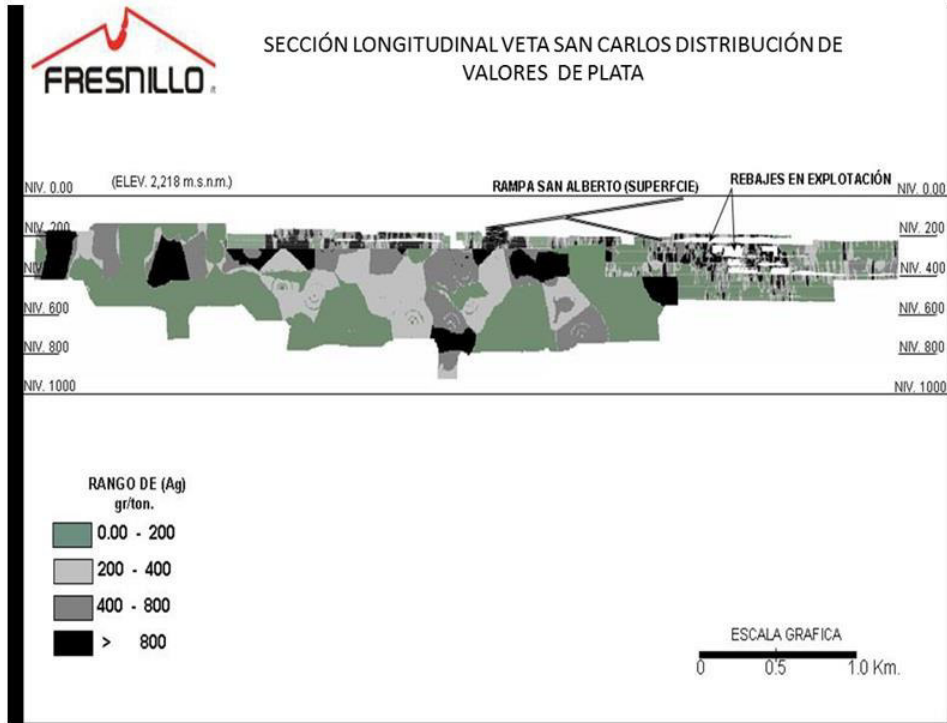


Figura 8. Sección longitudinal mostrando la distribución de los valores de plata en la veta San Carlos del Distrito Fresnillo.

### 3.5 DEPÓSITO DE MINERALES

El desarrollo de la mineralización fue originado por episodios múltiples de actividad hidrotermal. Dentro de cada etapa de la veta, el volumen de los minerales de la mena se deposita primero como cocada o bandas crustiformes y brecha, seguido por una depositación menor como diseminaciones ó vetillas en la ganga de cuarzo y calcita. De los estudios de texturas de la mena dentro de



la veta Santo Niño, se han identificado cuatro fases fluidas que observan toda la evidencia de ebullición.

Etapa 1. - Es volumétricamente la etapa más importante. Esta etapa ocurre virtualmente a través de toda la veta, tiene un brechamiento a lo largo del contacto del alto con una matriz de fragmentos de brecha con un bandeamiento bien desarrollado y matriz de cuarzo de color blanco-gris.

Etapa 2.- Brecha soportada con fragmentos altamente alterados, un pobre bandeamiento y una matriz de cuarzo cloritizada. En varios lugares, la etapa 1 está ausente y la etapa 2 representa el evento mineralizante más temprano.

Etapa 3.- Ocurre a través de toda la veta y corta transversalmente las etapas tempranas de mineralización con contactos definidos y está comprendida por bandas crustiformes de cuarzo y sulfuros.

Etapa 4.- Representa la etapa final de mineralización y es la más desarrollada en la parte central de la veta. Esta etapa está caracterizada por calcita masiva con pequeñas cantidades de cuarzo fino y algunas ocurrencias de sulfosales de plata.

Se han reconocido dos tipos de fluidos durante las fases de la mineralización: primero la de temperatura más alta (270°-355°C), salinidad (10-17 wt% NaCl) fluidos magmáticos resultando mineralización de metales base. Estos fluidos produjeron vapor en soluciones de sulfatos ácidos condensándose por encima del nivel freático resultando una fuerte alteración de alunita y kaolinita y que puede ser indicativo de cuerpos minerales ciegos. Después la temperatura más baja (190°-250°C), cerca del pH neutro, la salinidad baja (<5 wt% NaCl), fluidos probablemente meteóricos

que produjeron cuarzo extendido, calcita, illita, y alteración de clorita que se observan en la superficie.

Dos fases de la actividad hidrotermal son consideradas que pueden haber ocurrido, separado por un cambio importante en la profundidad del nivel freático. Cuando el nivel freático era más somero una fase fluida hidrotermal temprana produjo los líquidos magmáticos responsables de la mineralización rica en metales básicos (mineral de sulfuros pesados) y de pH neutral, fluidos meteóricos formaron clorita, calcita, cuarzo, adularia. La segunda fase era un fluido meteórico más tardío, en el cual el flujo regional era aumentado debido a la deformación adicional y fue entremezclada con las salmueras magmáticas ocasionales que dieron lugar a los depósitos ricos de plata.

## IV. MÉTODO DE MINADO DE TUMBE POR SUBNIVELES TRANSVERSALES

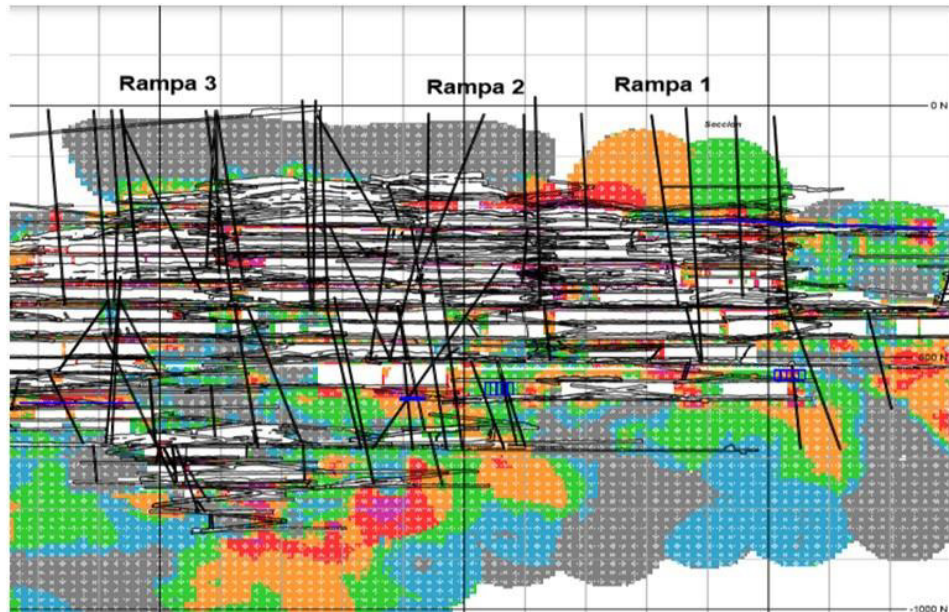


Figura 9. Modelo geológico Mina San Carlos.

### 4.1 GENERALIDADES

Uno de los objetivos principales de la empresa Fresnillo PLC en la mina subterránea consiste en tornar más eficientes sus operaciones de explotación para obtener un mayor margen de utilidades a un menor costo mediante el empleo de técnicas de alto rendimiento utilizando tecnología de última generación, así como asegurar que las actividades de barrenación larga, se realicen de una manera segura y eficiente garantizando la integridad física de las personas, el equipo, las instalaciones, el cuidado al medio ambiente y con la mayor productividad posible.

## 4.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE BARRENACIÓN LARGA

4.2.1 Justificación para utilizar la barrenación larga por subniveles. Los depósitos de baja ley y volúmenes muy altos de reservas minables, por lo general se explotan con métodos de alta producción, bajos costos y poca selectividad. Mientras que los de alta ley, emplean sistemas de baja producción, costos elevados y alta selectividad. Entre los primeros podemos mencionar el método de barrenación larga con subniveles y en el segundo el tradicional corte y relleno.

El método de barrenación larga es aplicado a cuerpos mineralizados con orientación semi vertical, con lo cual se justifica en el caso de San Carlos, ya que el cuerpo mineralizado que se está explotando cuenta con un echado entre los 60 y 75 grados, y una potencia de hasta 3.10 metros promedio. Otro punto a tomar en cuenta para la utilización de este método es que es empleado para obtener producciones elevadas en forma continua, y en este caso la producción diaria de la mina subterránea actualmente es de mil toneladas diarias.

4.2.2 Consideraciones en la selección de un sistema de barrenación larga.

Los factores que se describen a continuación son básicos en la consideración de una variante del sistema de barrenación larga:

1. *Echado de la estructura.* El echado de la estructura debe ser de 60° o mayor. En este caso, el echado promedio de la estructura es de  $\pm 65^\circ$ .

2. *Competencia de las tablas.* Se requiere que la estructura cuente con tablas competentes, de manera que sea mínima la presencia

de caídos de material estéril proveniente de éstas durante el minado. Es decir, si las tablas son lo suficientemente firmes la dilución no será un problema.

*3. Información geotécnica.* Es necesario disponer de una amplia información geotécnica para calcular la estabilidad de las obras y definir las necesidades de soporte requerido. La información geotécnica nos permitirá caracterizar al macizo rocoso en función de una serie de parámetros a los que se les asigna un cierto valor. Por medio de la información geotécnica se llega a calcular un índice característico de la roca, que permite describir numéricamente su calidad. A lo largo de los años se han desarrollado y utilizado varios sistemas de clasificación del macizo rocoso. Hoy en día básicamente se usan dos sistemas, el de Bieniawski o *RMR* y el de Barton o sistema *Q*, los cuáles se describen brevemente a continuación.

#### *Clasificación de Bieniawski (R.M.R)*

El sistema de clasificación de la masa rocosa o *RMR* siglas por su significado en inglés *Rock Mass Rating* fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972 - 1973, con base en más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Para determinar el índice *RMR* de calidad de la roca, se consideran los siguientes seis parámetros del terreno:

1. La resistencia a la compresión simple del material.
2. El índice *RQD* (*Rock Quality Designation*).
3. El espaciamiento de las discontinuidades.
4. El estado de las discontinuidades.

5. La presencia de agua.

6. La orientación de las discontinuidades.

El *RMR* se obtiene como suma de las puntuaciones que corresponden a los valores de cada uno de los seis parámetros enumerados anteriormente. El valor del *RMR* oscila entre 0 y 100, y es mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Bieniawski distingue 5 tipos o clases de roca según el valor del *RMR*:

CLASE I:  $RMR > 80$  (roca muy buena)

CLASE II:  $80 > RMR > 60$  (roca buena)

CLASE III:  $60 > RMR > 40$  (roca media)

CLASE IV:  $40 > RMR > 20$  (roca mala)

CLASE V:  $RMR < 20$  (roca muy mala)

RMR PARA PROYECTO

Tabla A. Resistencia a la compresión simple de la roca intacta.

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA MÍNIMA	RESISTENCIA MÁXIMA	VALOR MEDIO
ANDESITA	127MPa	138MPa	128MPa

Tabla B. Parámetro clasificación por resistencias de rocas sanas

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE	ÍNDICE DE RESISTENCIA DE CARGA PUNTUAL (MPa)
Muy alta	< 200	< 8
Alta	100 - 200	4 - 8

Media	50 - 100	2 - 4
Baja	25 - 50	1 - 2
Muy baja	10 - 25 3 - 10 1 - 3	< 1

1. RQD

$$RQD = 100 \times \frac{\text{long de núcleos mayores de 100mm}}{\text{Long del barreno}}$$

$$RQD = 100 \times \frac{38 + 17 + 0 + 20 + 35}{200} = 55\%$$

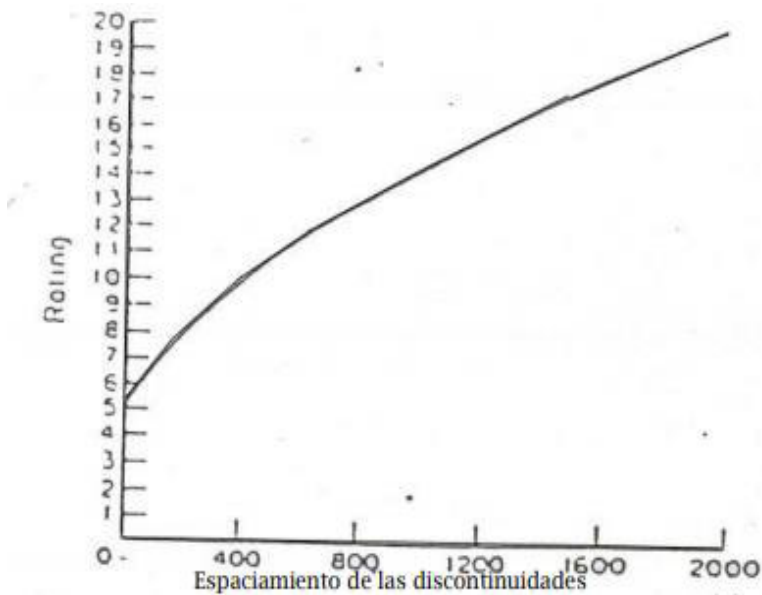
2. Espaciamiento de Discontinuidades.

Tabla C. Tabla de clasificación del espaciamiento de las discontinuidades.

DESCRIPCIÓN	ESPACIADO DE LAS JUNTAS	TIPO DE MACIZO ROCOSO
Muy ancho	>3 mts	Sólido
Ancho	1 - 3 mts	Masivo
Moderadamente cerrado	0.3 - 1 mts	En bloques
Cerrado	50 - 300 mm	Fracturado
Muy cerrado	<50 mm	Machacado

Se tienen 3 conjuntos de fracturas cerradas, entre 50 y 300 mm, con un tipo de macizo rocoso fracturado.

Del siguiente gráfico obtenemos el valor del tercer parámetro:



De aquí que para el espaciado de las juntas que tenemos (300mm), tenemos un valor de 9 para nuestro tercer parámetro.

- Naturaleza de las juntas o diaclasas (estado de las discontinuidades).

Para determinar el valor del cuarto parámetro, tomaremos el promedio obtenido de las siguientes tablas:

Tabla D. Muestra la clasificación según las aberturas de las discontinuidades.

GRADO	DESCRIPCION	SEPARACION DE LAS CARAS	RANGO MRM
1	Abierta	>5 mm	0
2	Moderadamente abierta	1 – 5 mm	1
3	Cerrada	0.1 – 1 mm	4
4	Muy cerrad	<0.1 mm	5
5	No tiene	0	6



Tabla E. Muestra la clasificación según la continuidad de las discontinuidades

GRADO	DESCRIPCION	CONTINUIDAD	RANGO RMR
1	Muy pequeña	<1 mts	6
2	Pequeña	1 – 3 mts	4
3	Media	3 – 10 mts	2
4	Alta	10 – 20 mts	1
5	Muy alta	>20 mts	0

Tabla F. Muestra la clasificación según la rugosidad de las discontinuidades.

<i>GRADO</i>	<i>DESCRIPCION</i>	<i>RANGO RMR</i>
1	Muy rugosa	6
2	Rugosa	5
3	Ligeramente rugosa	2
4	Suave	1
5	Espejo de falla	0

Tabla G. Muestra la clasificación según el relleno de las discontinuidades.

<i>GRADO</i>	<i>DESCRIPCION</i>	<i>RANGO RMR</i>
1	Relleno blando >5 mm	0
2	Relleno blando <5 mm	2
3	Relleno duro >5 mm	2
4	Relleno duro <5 mm	4
5	ninguno	6

Tabla H. Muestra la clasificación según la meteorización de las discontinuidades.

<i>GRADO</i>	<i>DESCRIPCION</i>	<i>RANGO RMR</i>
1	<i>Descompuesta</i>	0
2	<i>Muy meteorizada</i>	1
3	<i>Moderadamente meteorizada</i>	3
4	<i>Ligeramente meteorizada</i>	5
5	<i>No meteorizada</i>	6

Para calcular el RMR según la naturaleza de las discontinuidades se toma el promedio de la suma de los RMR obtenidos en las 5 tablas descritas anteriormente.

1. Presencia de agua.

Tabla I. Para calcular el RMR según la presencia del agua.

GRADO	DESCRIPCION	RANGO RMR
1	Completamente seco	15
2	Semi humedo	10
3	Humedo	7
4	Mojado	4
5	Flujo de agua	0

2. Parámetro para calcular el RMR según la orientación de las discontinuidades (rumbo y buzamiento).

Para calcular este rango RMR se debe clasificar la roca de acuerdo al rumbo y buzamiento con respecto a la obra civil que se va a ejecutar, esta clasificación se especifica a continuación.

Tabla J. Clasificación para la determinación de los buzamientos con respecto al efecto relativo con relación al eje de la obra.

Rumbo Perpendicular al Eje de la obra				Rumbo Paralelo al Eje de la obra		Buzamiento 0 -20° Independiente del Rumbo.
Dirección según buzamiento		Dirección contra buzamiento		Buzam	Buzam	
Buzam 45° - 90°	Buzam 20° - 45°	Buzam 45° - 90°	Buzam 20° - 45°			
Muy favorable	favorable	regular	desfavorable	Muy desfavorable	Regular	desfavorable

Cuando se tiene la calificación del rumbo y buzamiento de la roca con respecto al eje de la obra, se procede a calcular con ese calificativo, el rango RMR, dependiendo del tipo de obra civil a ejecutar.

Tabla K. Rango RMR para obras de tipo túneles y minas.

CALIFICATIVO	RANGO RMR
Muy favorable	0
Favorable	-2
Regular	-5
Desfavorable	-10
Muy desfavorable	-12

Este parametro 6 se le debe restar a la suma de los otros 5 parámetros descritos anteriormente y el resultado es el índice RMR general del Macizo Rocoso.

$$RMR = 5 + 55 + 9 + 3.6 + 7 - 5$$

$$RMR = 74.6$$

Tabla L. Calidad de Macizo Rocoso con relación al índice RMR.

<i>CLASE</i>	<i>CALIDAD</i>	<i>VALORACIÓN RMR</i>
<i>I</i>	<i>MUY BUENA</i>	<i>100 – 81</i>
<i>II</i>	<i>BUENA</i>	<i>80 – 61</i>
<i>III</i>	<i>MEDIA</i>	<i>60 – 41</i>
<i>IV</i>	<i>MALA</i>	<i>40 – 21</i>
<i>V</i>	<i>MUY MALA</i>	<i>&lt;20</i>

Tabla M. Guía para la excavación y soporte en túneles y obras de ingeniería donde la condición de la roca es importante. (Según Bieniawski)

Clase de macizo rocoso	Excavación	Pernos (20 mm de diámetro, investados.	Soporte con concreto armado	costillas
I. Roca muy Buena, RMR: 81- 100	A sección completa. 3 mts. de avance.	Generalmente no se requiere.		Ninguno
II. Roca Buena, RMR: 61 - 80	A sección completa 1-1.5 mts de avance. Soporte completo a 20 mts del frente.	Pernos en la corona de 3 mts. de longitud espaciados a 2.5 mts. malla ocasional	50 mm en la corona donde se requiera	Ninguno
III. Roca regular, RMR: 41 - 60	Frente superior y destroza, 1.5-3 mts de avance en media sección. Inicio del soporte después de cada voladura. Soporte completo a 10 mts del frente.	Pernos sistemáticos, 4 mts de longitud, espaciados 1.5-2 mts en la corona y hastiales con malla en la corona.	50 - 100 mm en la corona y 30 mm por los lados	Ninguno
IV. Roca Pobre, RMR: 21 - 40	Frente superior y destroza, 1 - 1.5 mts de avance en la media sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación 10 mts del frente.	Pernos sistematicos , 4- 5 mts de longitud, espaciados 1 - 1.5 mts en la corona y hastiales con malla.	100 - 150 mm en la corona y 30 mm por los lados	Costillas ligeras a medias espaciadas 1.5 mts a donde se requiera.
V. Roca muy pobre RMR:< 20	Múltiples galerías 0.5-1.5 mts.de avance en la sección superior. Instalación de soporte conjuntamente con la excavación. Concreto proyectado tan pronto como sea posible después de las voladuras.	Pernos sistemáticos , 5-6 mts de longitud, espaciados 1 - 1.5 mts en la corona y hastiales con malla. Pernos invertidos.	150- 200 mm en la corona, 150 mm en los lados y 50 mm al frente	Costillas medianas a resistentes, espaciadas a 0.75 mts con planchas de acero y tablestacas si se requiere.

## Clasificación de Barton (Q)

El sistema que nos determina el índice de la calidad del túnel (*Tunnel Quality Index*) mejor conocido como sistema Q o clasificación de Barton fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton, Lien y Lunde, del Instituto Geotécnico Noruego. Su desarrollo se basó en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia. Actualmente se denomina nuevo método noruego de túneles al diseño de las excavaciones basándose directamente en los trabajos de Barton. La clasificación de Barton asigna a cada terreno un índice de calidad Q, dicho índice será mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Su variación no es lineal como la del *RMR*, sino exponencial y oscila entre  $Q= 0.001$  para terrenos muy malos y  $Q= 1000$  para terrenos muy buenos.

El valor de Q se obtiene de la expresión:

$$Q= (RQD/Jn )(Jr/Ja)(Jw/SRF)$$

Donde cada parámetro representa lo siguiente:

- *RQD* Es el índice *Rock Quality Designation* (Designación de la Calidad de la Roca), es decir, la relación en porcentaje entre la suma de longitudes de núcleos recuperados de un sondeo mayores a 10 cm y la longitud total.

Barton señala que es suficiente tomar un  $RQD=10$  (mínimo) en incrementos de 5 en 5

- *Jn* Depende del número de familias de fracturas que hay en el macizo y su valor varía entre 0.5 y 20

- $J_r$  Depende de la rugosidad de las fracturas y su valor varía entre 1 y 4
- $J_a$  Depende del grado de alteración de las paredes de las fracturas de la roca, y su valor varía entre 0.75 y 20
- $J_w$  Depende de la presencia de agua en el túnel, su valor varía entre 0.05 y 1
- $SRF$  Son las iniciales de *Stress Reduction Factor*, y depende del estado tensional de la roca que atraviesa el túnel.

Para la obtención de cada uno de los cinco últimos parámetros, Barton aporta unas tablas donde se obtienen los valores correspondientes en función de descripciones generales del macizo rocoso.

#### CÁLCULO DE Q PARA EL PROYECTO.

$$Q = (RQD/J_n)(J_r/J_a)(J_w/SRF)$$

1. RQD. Índice *Rock Quality Designation* (Designación de la Calidad de la roca. RQD = 55

$$RQD = 100 \times \frac{\text{long de núcleos mayores de 100mm}}{\text{Long del barreno}}$$

$$RQD = 100 \times \frac{38 + 17 + 0 + 20 + 35}{200} = 55\%$$

Tabla N. Parámetro para cálculo de RQD

<i>Descripción de la calidad del macizo rocoso</i>	<i>R . Q . D . %</i>	<i>Observaciones.</i>
Muy mala	0-25	Para R.Q.D < 10 se puede tomar R.Q.D.= 10 en la ecuación de Q.
Mala	25-50	
Mediana	50-75	
Buena	75-90	
Excelente	90-100	



2. Jn. Número de familias de fracturas que hay en el macizo.  
Jn = 3

Tabla O. Parámetro para el cálculo de la familia de diaclasas

<i>Descripción</i>	<i>Jn</i>
Roca masiva	0.5-1
Una familia de diaclasas.	2
Una familia de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	3
Dos familias de diaclasas.	4
Dos familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales	6
Tres Familias.	9
Tres familias de diaclasas y algunas Diaclasas ocasionales.	12
Cuatro o más familias de Diaclasas, roca muy fracturada.	15
Roca triturada terrosa.	20
En boquillas, se utiliza 2 Jun y en Túneles 3 Jun	



3. Jr. Rugosidad de las fracturas. Jr =1.5



Tabla P. Parámetro para la rugosidad de las diaclasas.



❖ Contacto entre las 2 caras de las diaclasas con poco desplazamiento lateral de menos de 10 cm.	<b>Jn</b>
▪ Juntas discontinuas.	4
▪ Juntas Rugosa o irregular ondulada.	3
▪ Suave ondulada.	2
▪ Espejo de falla, ondulada,	1.5
▪ Rugosa o irregular, plana.	1.5
▪ Suave plana.	1
▪ Espejo de Falla, plano.	0.5
❖ No existe contacto entre las 2 caras de las diaclasas cuando ambas se desplazan lateralmente.	<b>Jn</b>
▪ Zona de contenido de minerales arcillosos, suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las caras de las Diaclasas.	1
▪ Arenas, gravas o zona fallada suficientemente gruesa para impedir el contacto entre las 2 caras de las diaclasas.	1
Nota: si el espaciado de la familia de las diaclasas es mayor de 3 m hay que aumentar el Jn en una unidad.	
Para diaclasas con espejos de falla provisto de lineaciones, si están orientadas favorablemente, se puede usar Jr=0.5	

4. Ja. Grado de alteración de las paredes de las fracturas de la roca. Ja = 0.75

Tabla Q. Parámetro para la meteorización o alteración de las diaclasas.

<i>Descripción</i>	<i>Ja</i>	<i>θ°</i>
<b>Contacto entre las 2 caras de las Diaclasas.</b>		
Junta sellada, dura, sin reblandecimiento impermeable como por ejemplo cuarzo en paredes sanas.	0.75	25-30
Caras de la junta únicamente manchadas.	1	25-30
Las caras de la junta están alteradas ligeramente y contienen minerales no blandos partículas de arena, roca desintegrada libre de arcilla.	2	25-30
Recubrimiento de limo o arena arcillosa, pequeña fricción arcillosa no reblandecible.	3	20-25
Recubrimiento de minerales arcillosos blandos o de baja fricción como caolinita, clorita, talco yeso, grafito y pequeñas cantidades de arcillas expansivas. Los recubrimientos son discontinuos con espesores máximos de 1 o 2 mm.	4	8-16



5.  $J_w$ . Depende de la presencia de agua en el túnel.  $J_w = 0.66$

Tabla R. Parámetro para la presencia de agua en las diaclasas.

	$J_w$	Presión del agua Kg/cm <sup>2</sup>
- Excavaciones secas o de influencia poco importante.	1	<1
- Fluencia o presión medias. Ocasional lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.66	1-2.5
- Fluencia grande o presión alta, considerable lavado de los rellenos de las Diaclasas.	0.33*	2.5-10
- Fluencia o presión de agua excepcionalmente altas, decayendo con el tiempo.	0.1-0.2*	>10
- Fluencia o presión de aguas excepcionalmente altas y continuas, sin disminución.	0.05-0.01*	>10

Los valores presentados con el Signo \* son solo valores estimados. Si se instalan elementos de drenaje, hay que aumentar  $J_w$



6. *SRF. Stress Reduction Factor*, y depende del estado tensional de la roca que atraviesa el túnel.  $SRF = 2.5$

Tabla S. Parámetro para tensiones en las excavaciones.

<b>1.-Zona débil que interceptan la excavación y pueden causar caídas de bloques.</b>	<b>S.R.F</b>
<b>A.</b> Varias zonas débiles conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente, roca muy suelta alrededor.	10
<b>B.</b> Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente (profundidad de excavación < 50 m.).	5
<b>C.</b> Solo una zona débil conteniendo arcilla o roca desintegrada químicamente. (Profundidad de excavación > 50 m.).	2.5
<b>D.</b> Varias zonas de fractura en roca competente libre de arcilla, roca suelta alrededor. (Cualquier profundidad).	7.5
<b>E.</b> Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla (Profundidad de excavación < 50 m.)	5
<b>F.</b> Sólo una zona fracturada en roca competente, libre de arcilla. (Profundidad > 50 m).	2.5
<b>G.</b> Diaclasas abiertas sueltas, muy fracturadas. Cualquier profundidad.	5




$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

$$Q = \frac{55}{3} \times \frac{0.75}{4} \times \frac{1}{2.5}$$

$$Q = 9.67$$

Tabla T. Clasificación de Barton de los macizos rocosos, índice de calidad Q.



TIPO DE ROCA	VALOR DE Q
Excepcionalmente mala.	$10^{-3} - 10^{-2}$
Extremadamente mala.	$10^{-2} - 10^{-1}$
Muy mala.	$10^{-1} - 1$
Mala.	1 - 4
Media.	4 - 10
Buena.	10 - 40
Muy buena.	40 - 100
Extremadamente Buena.	100 - 400
Excepcionalmente Buena.	400 - 1000

4. *Distribución de la mineralización.* Es deseable que la mineralización del cuerpo presente una distribución homogénea a lo largo y ancho de la estructura. Este tema es de gran importancia, ya que el método no es selectivo y todo “caballo” de tepetate o zonas no económicas habrá necesidad de tumbarlas, lo que muy probablemente incrementará el porcentaje de dilución.

5. *Presencia de hilos o desprendimientos económicos paralelos a la estructura principal.*

Si se presentan desprendimientos o ramaleos de mineral económico a lo largo o más allá de los contactos, no es posible minarlos ya que se complica la explotación y da lugar a excesos

de dilución, además de crear zonas de inestabilidad potencialmente peligrosas.

*6. Soporte de tablas y techos.* Siempre es recomendable soportar el cielo y tablas de los subniveles debido a los elevados niveles de vibraciones generados por las voladuras, las cuales tienden a producir aflojamiento de roca. En el caso de las tablas, el reforzamiento se hace con anclaje largo a base de cables de acero, con lo que es posible detener un alto porcentaje de desprendimientos de material estéril, el cual es el principal causante de las diluciones que reducen el valor esperado del mineral.

*7. Voladuras controladas.* Es necesario el manejo de voladuras amortiguadas de post-corte a lo largo de las tablas para evitar lastimarlas y provocar problemas indeseables de inestabilidad.

*8. Corte de pilares auxiliares.* En ocasiones es necesario cortar pilares dentro de los rebajes de barrenación larga, con el objeto de controlar la estabilidad general del rebaje o por razones de estabilidad local (presencia de fallas).

### **4.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE BARRENACIÓN LARGA**

Las siguientes son algunas de las ventajas y desventajas inherentes a los sistemas de barrenación larga:

#### 4.3.1 Ventajas

1. Alto grado de mecanización.
2. Se requiere un mínimo de personal para su operación, incluso este se concentra en unas pocas áreas: desarrollo de subniveles, barrenación para producción y soporte, cargado de explosivos, voladuras y rezagado del mineral quebrado.
3. Una vez preparado un rebaje, es altamente productivo
4. Bajos costos de minado.
5. Es un método muy seguro, ya que el personal trabaja bajo un cielo soportado.
6. Puede favorecerse la ventilación al generarse grandes huecos de minado.
7. Al desarrollar los subniveles se conoce a detalle la geometría del cuerpo, sus características estructurales y la distribución de la mineralización.

#### 4.3.2 Desventajas

- 1.- Requiere una gran cantidad de información de geología económica y geotécnica en su diseño, de otra forma el diseño llevará a resultados frustrantes en cuanto a la estabilidad, dilución y recuperación de mineral in situ y mineral quebrado.
- 2.- Índices de dilución en un rango de 20-25 %.

3.- El minado se complica cuando se presentan “ramaleos” de mineral económico más allá de los contactos de la estructura principal.

4.- No es un método selectivo, por lo que resulta muy difícil minar áreas estériles o de baja ley dentro de la estructura mineralizada.

5.- A futuro es necesario rellenar los huecos producto del minado para evitar influir negativamente en la estabilidad general de la mina o en la explotación de cuerpos cercanos al rebaje abierto.

## V. PREPARACIÓN DEL BLOQUE MINERAL

### 5.1 DESCRIPCIÓN

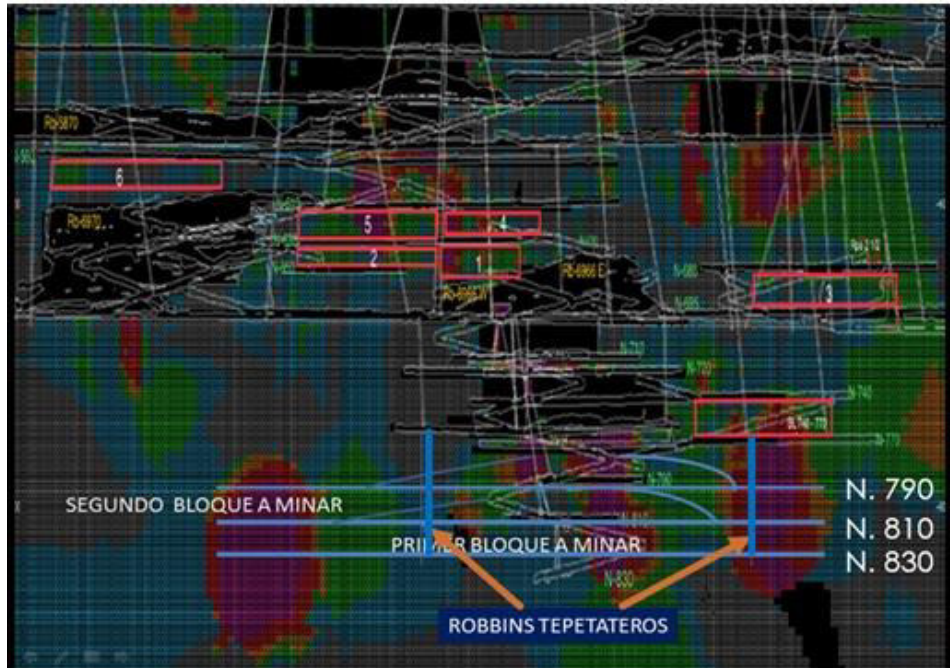


Figura 10. Imagen mostrando los bloques minándose y los bloques a preparar para ser minados por barrenación larga.

La dimensión de los bloques que se convertirán en rebajes serán de 200 mts de largo, 20 metros de alto y 3 metros de ancho promedio.

Se diseñarán los bloques cortando el cuerpo mineralizado transversalmente a 160 metros de los accesos principales para el relleno de los mismos.

Se le dará una secuencia de minado ascendente, comenzando a minar del nivel 810 al 830, para después producir lo



correspondiente al bloque 790 al 810, esto claro después de haber rellenado el hueco generado en el primer bloque minado.

Para la selección del método de minado se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: la forma y el tamaño del yacimiento, el espesor, la inclinación del cuerpo, la profundidad del yacimiento, las propiedades mecánicas del macizo rocoso, la presencia de agua, la dureza del mineral, la calidad de la roca encajonante, el soporte de la roca y las distancias de acarreo, entre otros.

## **5.2 PROCEDIMIENTO PARA LA PREPARACIÓN DE REBAJES DE BARRENACIÓN LARGA.**



Figura 11. Equipo Simba para barrenación larga

### **5.2.1 Geología**

El geólogo responsable deberá realizar los mapeos y marcará las áreas económicas así como desbordes requeridos para exponer la estructura a minar tanto en el nivel superior como en el inferior.

Si la veta no está totalmente expuesta deberá notificar al área de operación mina para que se realicen los desbordes necesarios.

Deberá generar el modelo geológico determinando tipo de mineralización, litología, alteraciones y características de las estructuras, así como fallas y fracturas presentes. Cuando esta información esté concluida deberá notificar vía mail al área de planeación, así como la ruta donde se encuentra la información.

### 5.2.2 Planeación

El planeador deberá cerciorarse que las obras cumplan con las dimensiones requeridas para la correcta operación del jumbo y garantizando que la estructura quede expuesta en su totalidad, si estas no cumplen notificara a operación mina para que se realicen las ampliaciones necesarias.

Cuando la obra cumpla con las dimensiones, realizara el diseño de las secciones de las líneas de barrenación para asegurar que se mine con la mayor recuperación y menor dilución posible, basado en el modelo topográfico y geológico, en este último se incluirá la litología, las alteraciones, características de la estructura, numero de barrenos, inclinación y líneas de referencia.

La entrega de las secciones será a partir del presupuesto semanal de minado. Las secciones de las líneas de barrenación deberán ser revisadas y aprobadas, por planeación, geología y mina, antes de ser entregadas.

### 5.2.3 Operación mina

Los responsables de la operación deberán cerciorarse que la obra cumple con las dimensiones antes de iniciar con el soporte definitivo (zarpeo, anclaje, enmallado etc...), el soporte deberá

realizarse de acuerdo a las recomendaciones del área de mecánica de rocas.

Los responsables de la operación deberán tener en su poder las secciones de las líneas de barrenación previamente autorizadas y validadas por los líderes de los departamentos involucrados, tanto en copia física como por mail.

Así mismo deberán asegurar que el operador del SIMBA cuente con su juego de secciones y verificar que se apliquen correctamente los parámetros ahí descritos, garantizando de esta manera la recuperación planeada y minimizando la dilución.

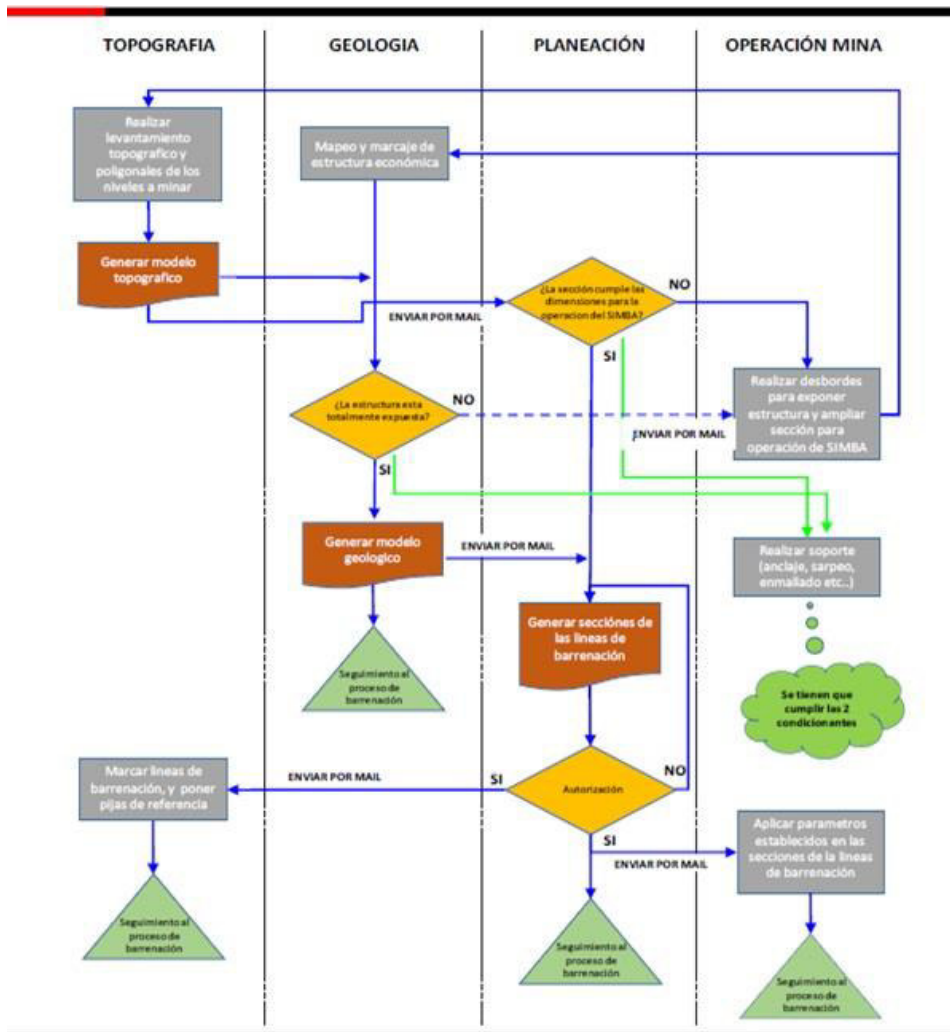


Figura 12. Diagrama de flujo para la preparación de los bloques de Barrenación Larga.

### 5.3 PLANEACIÓN

Tomando en cuenta la información generada y recuperada por la barrenación de exploración, y la información geotécnica, se ha seleccionado el método de minado subterráneo de *tumbe por subniveles transversales con barrenación larga* como el más apropiado para la explotación del cuerpo mineralizado de San Carlos, el cual presenta un echado entre los 60 y 70 grados y es lo suficientemente ancho e inclinado (hasta 10 metros de potencia en

algunos puntos) para ser minado eficientemente con dicho método de explotación.

Algunos puntos importantes a tomarse en cuenta para poder decidir que la explotación del cuerpo San Carlos fuera a través del método de minado de barrenación larga con los rebajes en forma transversal y en retirada, son los siguientes:

1. Con este método de minado subterráneo, las operaciones serán más seguras y efectivas.
2. Se reducirán los costos.
3. Se podrá tener un mejor control de la dilución.
4. La empresa Fresnillo PLC maneja este mismo sistema en sus distintas minas y áreas, el cual, además de la experiencia adquirida en la operación, hasta la fecha ha dado excelentes resultados.

#### 5.3.1. Planeación del desarrollo

Como se explicó a grandes rasgos en párrafos anteriores, los subniveles de la mina subterránea estarán separados a una distancia vertical de 20 metros uno de otro. La preparación de este bloque a minar constará de las siguientes obras

1. Rampa principal de acarreo.
2. Accesos principales a los niveles perpendiculares a la estructura.
3. Cargaderos con acumuladero de Mineral tipo "H"..
4. Una frente principal siguiendo el rumbo de la veta hacia el oriente y hacia el poniente.

5. Piletas en el Nivel 830 para captación de agua proveniente de la misma estructura mineralizada así como de la misma barrenación, tanto de desarrollo como de Barrenación Larga en un futuro.
6. Brazos para relleno de los huecos.
7. Crucero para subestación eléctrica

Tabla U. Muestra las secciones de las obras a desarrollar.

OBRA	SECCIÓN EN METROS
RAMPA PRINCIPAL	5X5
ACCESOS	4.5X4.5
CARGADEROS	5X5
FRENTES	4.5X5
PILETAS	4X4
BRAZOS DE RELLENO	4.5X4.5
CRUCERO SUB ESTACION	4X4





Figura 13. Marcaje de obras de desarrollo

El objetivo principal en esta etapa es el de desarrollar todos los niveles contemplados para la explotación de la veta San Carlos, cumpliendo siempre con la planeación anual ya elaborada.

Las obras de desarrollo se inician con el cuele de una rampa principal con una pendiente de -15 %. Al aproximarse a la elevación planeada para cada uno de los niveles, esta pendiente se reduce en promedio de un -15% a un -9% y posteriormente a un -4%. Es en esta zona con pendiente más ligera donde nos posicionamos para iniciar el desarrollo del acceso a los niveles.

La distancia de cada uno de los accesos a los niveles será distinta, entre más profundo, más desarrollo necesita el acceso. También se deberá desarrollar una obra que será utilizada como subestación eléctrica, la que abastecerá de corriente eléctrica a los equipos que lo requieran, ya sea para el desarrollo (jumbos) o para la producción (simbas). Asimismo proporcionará la energía

eléctrica para el funcionamiento de ventiladores, alumbrado de niveles y rebajes, bombeo. El acceso del nivel se cuele de forma perpendicular al rumbo de la veta y su rompimiento se planea aproximadamente en la zona intermedia del largo planeado de la veta en su parte económica.

Terminando el desarrollo del acceso, se inicia el cuele de la frente principal, siguiendo el rumbo de la veta (rumbo E-W) y considerando la sección necesaria para los equipos de barrenación.

#### 5.3.1.1 Diseño de las frentes y obras a desarrollar.

Sección Transversal, para SIMBA M4C ATLAS COPCO. La sección requerida para la operación correcta de este equipo es 5.0 m, de altura para tubos de 6 ft y 4.7 m para tubos de 5 ft, el ancho dependerá del echado de la veta. Tanto en el contacto de la veta con la pata de la tabla como del contacto de la veta con el hombro de la tabla, se requieren 0.3mts, para asegurar que el SIMBA se posicione correctamente por lo que dependiendo de la inclinación de la veta se tendrá que desbordar la tabla y en algunas ocasiones parte del cielo, como se muestra en la imagen.



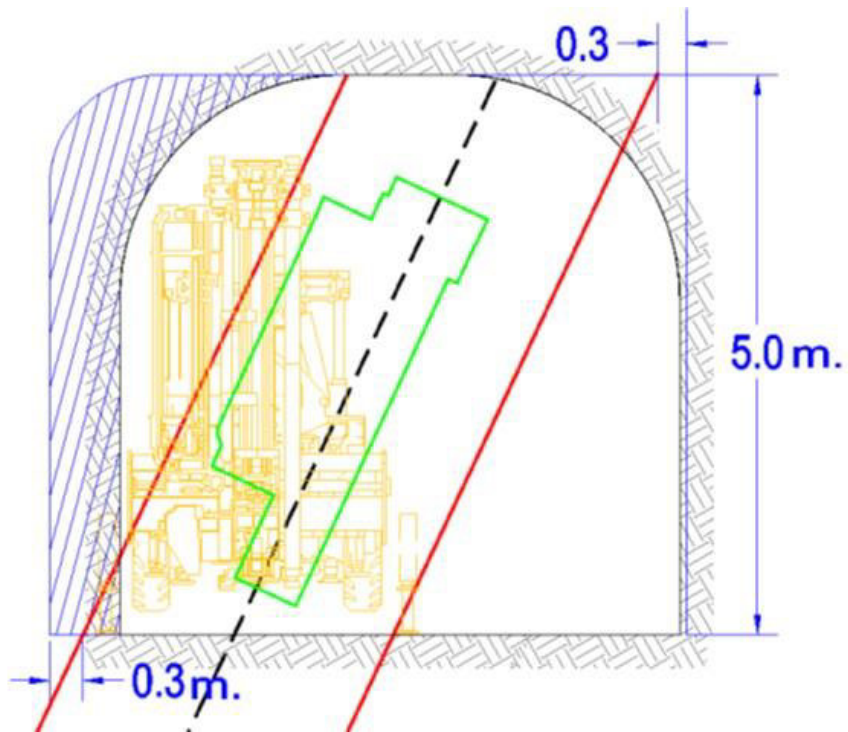


Figura 14. Sección necesaria para barrenar con un equipo Simba M4C

### 5.3.1.2 Cálculo de plantilla de barrenación para las frentes

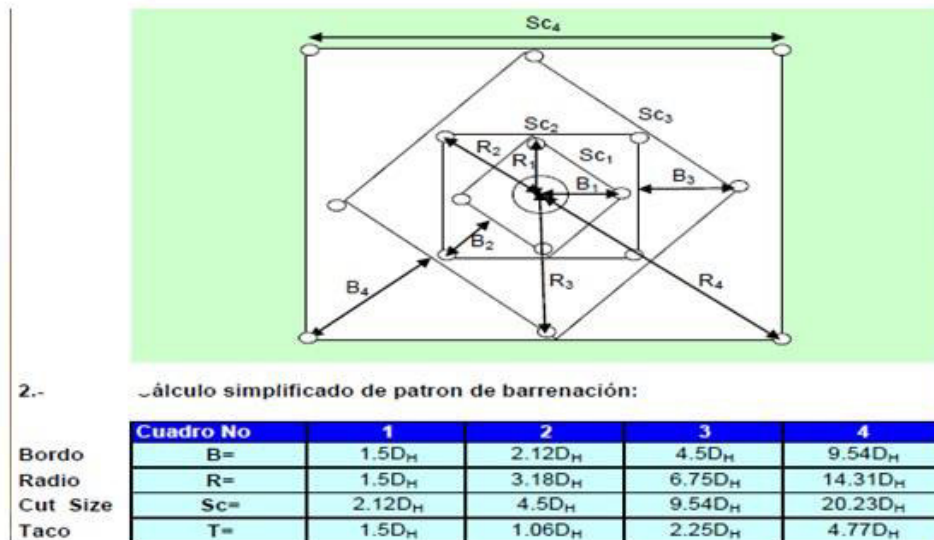


Figura 15. Cálculo de plantilla de barrenación para desarrollo.

AVANCE OBJETIVO = 3.80 MTS = 12.5 FT

DENSIDAD DE LA ROCA = 2.6 GR/CC

DIAMETRO BARRENO VACIO = 3 IN

DIAMETRO BARRENO CARGADO = 1.25IN

SECCION DE OBRA = 4.5 X 5.0MTS

**PROFUNDIDAD DE BARRENACION**

L = % AVANCE = 90%

H = AVANCE OBJETIVO = 3.80 MTS

H = 3.80MTS / .90 = 4.26 MTS = 14FT

**CALCULO DE DIAMETRO BARRENO VACIO**

H = (DH+16.51)/41.67

DH = (4.26MTS\*41.67) - 16.51 = 161mm

BUSCAMOS BARRENOS DE 76mm QUE  
CORRESPONDAN A 161mm

$$DH = dh\sqrt{N}$$

Tabla V. Cálculo de plantilla de barrenación

<b>CUADRO NO.</b>	1	2	3	4
<b>B = BORDO</b>	1.5 * 161	1.12 * 161	4.50 * 161	9.5 * 161
<b>R = RADIO</b>	1.5 * 161	18 * 161	6.75 * 161	14.31 161
<b>C = CUT SIZE</b>	1.12 * 161	4.50 * 161	9.54 * 161	20.23 161
<b>T = TACO</b>	1.5 * 161	1.06 * 161	2.25 * 161	4.77 161

CUADRO NO.	1	2	3	4
<b>B = BORDO</b>	241.5	341.32	724.5	1529.
<b>R = RADIO</b>	241.5	511.98	1086.75	2303.9
<b>C = CUT SIZE</b>	341.32	724.5	1535.94	3257.0
<b>T = TACO</b>	241.58	170.66	362.25	767.9

### 5.3.1.3 Soporte de obra.

Un punto importante que implica a la seguridad dentro del desarrollo, es el ciclo de soporte de la obra, por lo general el ciclo de desarrollo de una obra comprende las siguientes etapas:

1. Anclaje
2. Marcaje del tope
3. Barrenación
4. Cargado.
5. Voladura
6. Amacice
7. Rezagado.

Para este proceso se utiliza material de soporte de obra como las anclas del tipo *split-set* de 7 ft de longitud.

En promedio, el avance lineal por voladura es de 3 metros, por lo que la plantilla de anclaje variará de acuerdo al tipo de obra de que se trate, es decir, una contra frente, una frente o un acceso.

¿Qué es un ancla?

Es un elemento de refuerzo que mejora la resistencia de la roca a la tensión y también al esfuerzo cortante, permitiendo que el macizo rocoso pueda soportarse. Las anclas se dividen en dos tipos: las de fricción, y las de tensión.

#### Ancla ***split-set***

El ancla conocida como *split-set*, entra en el grupo de anclas de fricción y está conformada por un tubo ranurado. La acción de dicho tubo ranurado es que al penetrar en un barreno de diámetro menor, ejerce fuerzas radiales de compresión que cierran las fracturas de la roca.

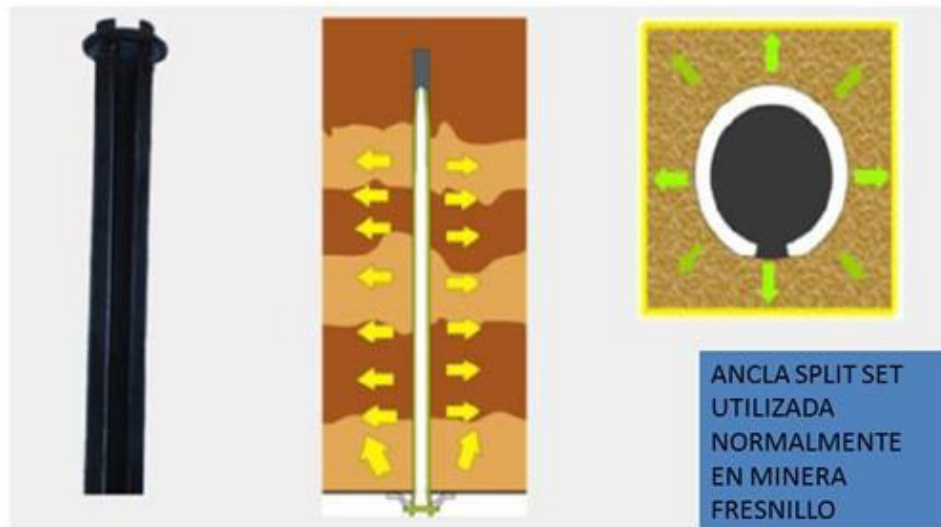


Figura 16. Descripción de anclas Split set

### 5.3.2 Preparación del rebaje

Una vez desarrolladas las frentes y cumpliendo con las especificaciones ya descritas anteriormente, se procede con lo especificado en el Procedimiento Seguro de Trabajo para que, una vez teniendo las condiciones necesarias, se pueda comenzar con el minado.

Dichas especificaciones consisten en lo siguiente.

El nivel de barrenación deberá de contar con zarpeo en sección completa, salvo que geología u operación mina solicite dejar “ventanas” a lo largo del rebaje para tener un control respecto a la veta. Una vez zarpeado el rebaje, se blanquea con cal. Posteriormente, se darán los barrenos de servicio para la instalación de los mismos, así como barrenos para colocar anclas de ojo cada 3 metros y en ambas tablas, estos con el fin de tenerlos para amarrar al personal que quedará expuesto al hueco que se generará más adelante durante el periodo de barrenación. El nivel superior, donde se barrenará debe contar también con

alumbrado, cable de comunicación por radio (leaky feeder), teléfono y también deberá instalarse una letrina cerca del rebaje. La entrada o acceso al rebaje deberá contar con un portón el cual deberá estar cerrado y señalizado, esto como medida de seguridad. Se tendrá también un nicho para colocar un cajón para explosivo, así como un lugar específico donde se colocará granzón, el cual se utilizará para rellenar los barrenos a disparar, esto en la etapa de explotación. Cabe mencionar también que el Simba que se va a utilizar en esta área es un Simba M4C, el cual ocupa un compresor portátil exclusivo para alimentar la presión de aire que el equipo necesita.



Figura 17. Nivel de barrenación listo para ser explotado



Figura 18. Portones con señalización a la entrada del Nivel de barrenación.



Figura 19. Compresor portátil para proporcionar servicio de aire al equipo de barrenación.



Figura 20. Rebaje en explotación con Simba M4 - C

### 5.3.3 Plantillas de barrenación

#### 5.3.3.1 Línea normal

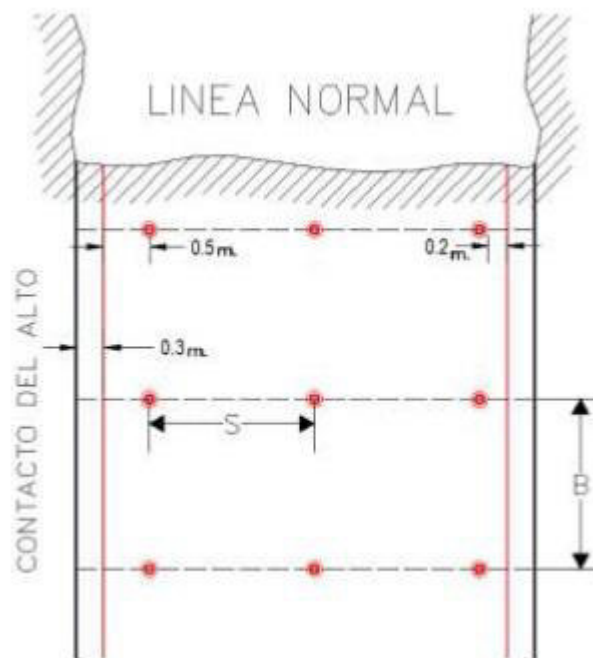
Dos o más barrenos por línea, espaciamiento igual entre barrenos 1.1 y 1.4 veces el bordo, el barreno más próximo al contacto del alto se dará a 0.50 m dentro del contacto, también se requiere un espacio de 0.30 m de la pata de la tabla al contacto de la veta, para el barreno del bajo se requiere como mínimo 0.20 m del contacto de la veta al barreno más próximo, con la finalidad de exponer totalmente la veta, así como asegurar que el simba se

posicione correctamente sin tener que afectar algún parámetro de la plantilla.

**SIMBA M4C-ITH:**

Para un diámetro de 4 1/2" aplica un bordo de 2.4 m.

Para un diámetro de 3 5/8" aplica un bordo de 1.8 m.



Dónde:

B= es igual a bordo

S= es igual a  
espaciamento





Figura 21. Barrenación en línea.

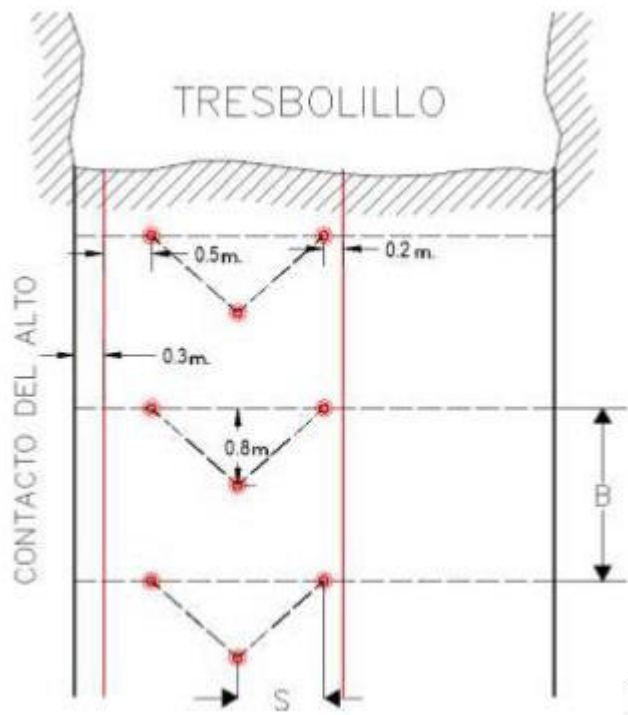
### 5.3.3.2 Tresbolillo

Tres o más barrenos por línea, barreno central adelantado tal como se muestra en la imagen y menor espaciamiento para ese barreno. Al igual que en la “línea normal”, el barreno más próximo al contacto del alto se dará a 0.50 m, más 0.30 m de la pata de la tabla al contacto de la veta, así mismo con el barreno del bajo como mínimo 0.20 m.

### **SIMBA M4C-ITH**

Para un diámetro de 4 ½” aplica un bordo de 2.4 m.

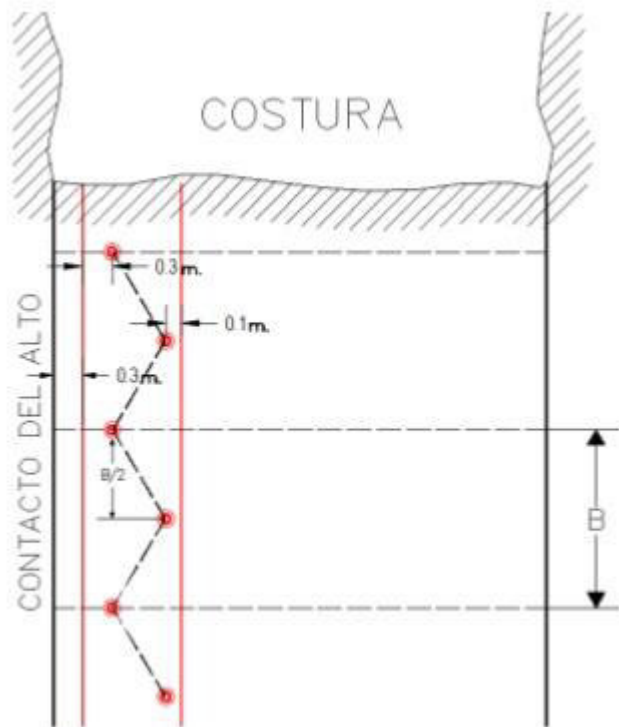
Para un diámetro de 3 5/8” aplica un bordo de 1.8 m.



### 5.3.3.3 Costura

Un solo barreno por línea, los barrenos más próximos al contacto del alto se darán a 0.30 m dentro del contacto y el del bajo como mínimo 0.10 m tal como se muestra en la imagen, líneas separadas por medio bordo.

Esta plantilla aplica para vetas de menos de 2.0 m de ancho con un diámetro de 3 5/8" y menos de 2.5 m para un diámetro de 4 1/2" para SIMBA M4CITH.



### 5.3.4 Cálculo de plantilla de barrenación y factor de carga

DATOS:

B = Bordo

E = Espaciamiento

T = Taco

SGe = Densidad del Explosivo =  $0.55 \text{ gr/cm}^3$

SGr = Densidad de la Roca =  $2.6 \text{ gr/cm}^3$

De = Diámetro del barreno =  $4.5 \text{ in} = 11.43 \text{ cm} = 114.3 \text{ mm}$

BORDO.- Se define como la distancia más corta al punto de alivio al momento que un barreno detona.

$$B = 0.012 \left[ \frac{2(SGe)}{SGr} + 1.5 \right] De$$

$$B = 0.012 \left[ \frac{2(0.55)}{2.6} + 1.5 \right] 114.3 = 2.63 \text{ mts}$$

Por seguridad reducimos el Bordo a 2.40 mts

ESPACIAMIENTO.- Se define como la distancia entre barrenos de una misma fila y/o hilera.

$$E = 1 \text{ a } 1.5 \times B$$

$$E = 1 \text{ A } 1.5 \times 2.40 \text{ mts.}$$

$$E = 2.40 \text{ mts}$$

TACO.- Es el área superior del barreno que se rellena normalmente con material inerte para el confinamiento de gases de la detonación.

$$T = 0.7 \times B$$

$$T = 0.7 \times 2.40 = 1.68 \text{ mts}$$

LONGITUD DE CARGA DE COLUMNA: Es la distancia vertical que se requiere para el uso del agente explosivo, para este caso

ANFO, a continuación se muestra la longitud necesaria para el caso de este proyecto:

Calculo de longitud de carga de columna

C.C.= longitud de barrenación – taco - longitud de alto explosivo

Dimensiones de alto explosivo (Booster) = Diámetro: 3.81 cm (1.5”) y largo: 8.89 cm (3.5”)

$$C.C. = 20 - 1.68 - 0.089 = 18.231 \text{ mts}$$

FACTOR DE CARGA: Se refiere a la relación de explosivo que se utiliza (en kg) por tonelada tumbada.

BORDO = 2.40 MTS

ESPACIAMIENTO = 2.40 MTS

TACO = 1.68 MTS

C.C. = 18.231 MTS

DENSIDAD DE LA ROCA = 2.6 GR / CM<sup>3</sup>

DIÁMETRO DEL BARRENO = 4.50” = 0.1143 MTS

$$\text{ÁREA DEL BARRENO} = \pi \frac{D^2}{4} = 0.01026 \text{ MTS}^2$$

VOLUMEN DEL BARRENO = ÁREA DEL BARRENO X C.C = 0.1870 MTS<sup>3</sup>

DENSIDAD DEL EXPLOSIVO = 0.55 GR / CM<sup>3</sup> = 550 KG / M<sup>3</sup>

EXPLOSIVO POR BARRENO = DENSIDAD EXPLO X VOLUMEN  
DE BARRENO

EXPLOSIVO POR BARRENO = 102.87 KG / BNO

TONELAJE POR LINEA:

VOLUMEN POR LINEA = BORDO X ESPACIAMIENTO X  
ALTURA DEL BANCO

= 2.40 MTS X 2.40 MTS X 20 MTS =  
115.20 MTS<sup>3</sup>

TON POR LÍNEA = 115.20 MTS<sup>3</sup> X 2.6 GR / CM<sup>3</sup> = 299.52 TON  
POR LÍNEA

299.52 TON / 3 BNOS = 100 TON POR BARRENO

102.87 KG EXPLO / 100 TON = 1.0287 KG / TON

## 5.4 OPERACIÓN

### 5.4.1 Nivelación y posicionamiento del simba

Nivel de burbuja del equipo perforador

Sentido lateral

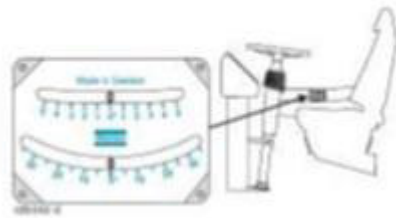
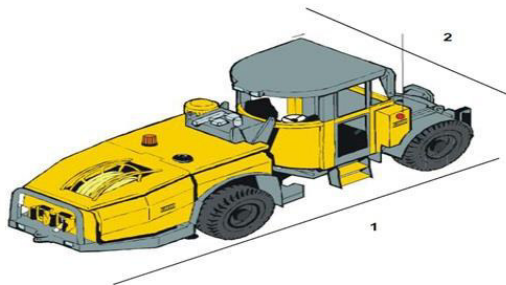


Figura 1. Colocación del nivel de burbuja, sentido lateral

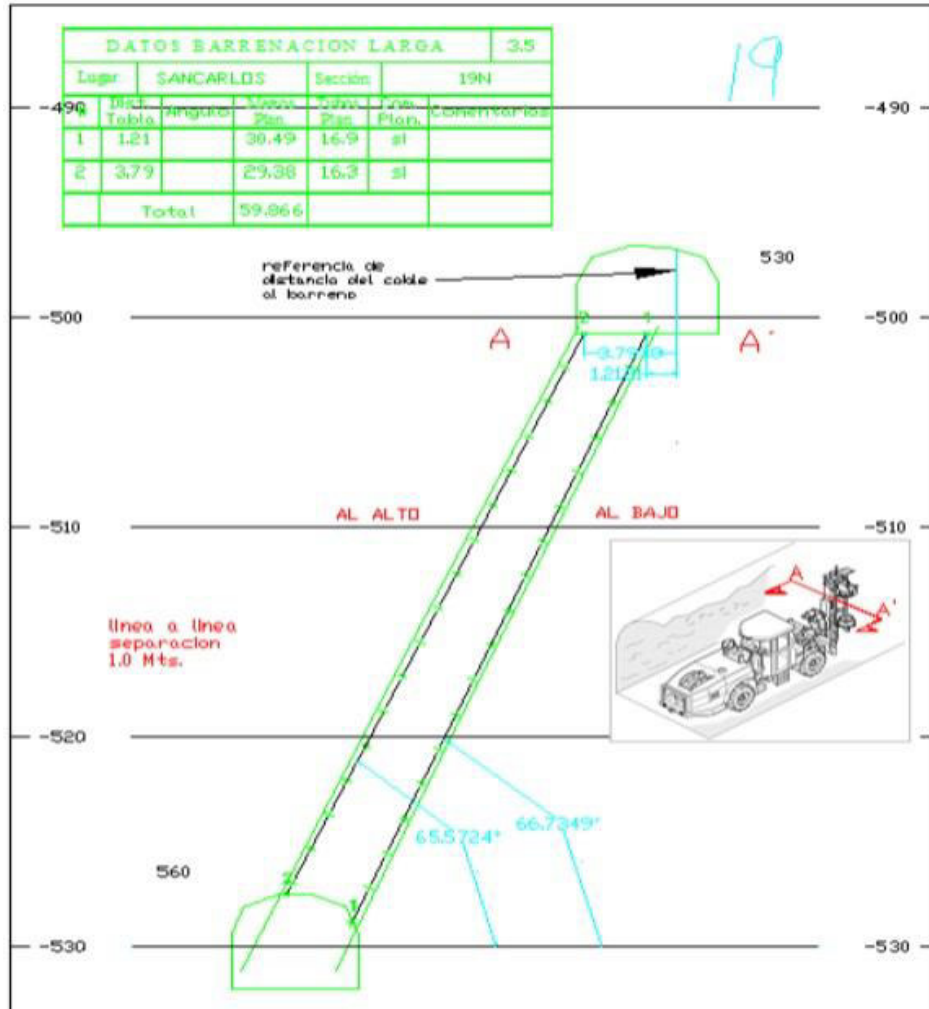
Sentido longitudinal



Figura 2. Colocación del nivel de burbuja, sentido longitudinal



## 5.4.2 Secciones

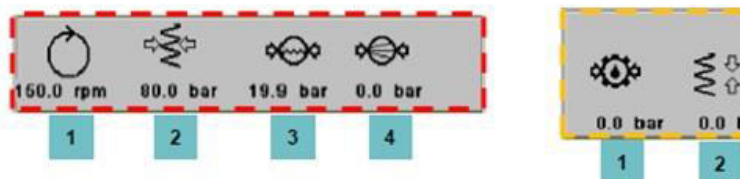
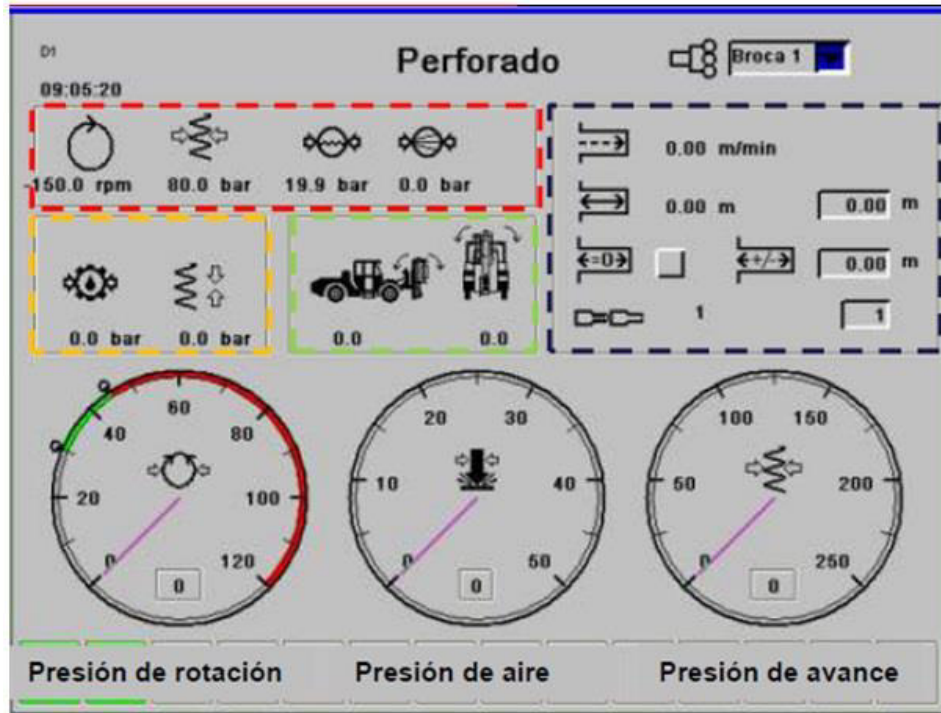


DATOS BARRENACIÓN LARGA						3.5
Lugar:	SAN CARLOS			SECCIÓN		19N
	Dist. Tabla	Ángulo	Metros Plan	Tubos Plan	Com. Plan	Comentarios
1	1.21	66.73	30.49	16.9	si	
2	3.79	65.57	29.38	16.3	si	
Total			59.87			

Figura 22. Ejemplo de diagrama de secciones para barrenación larga.

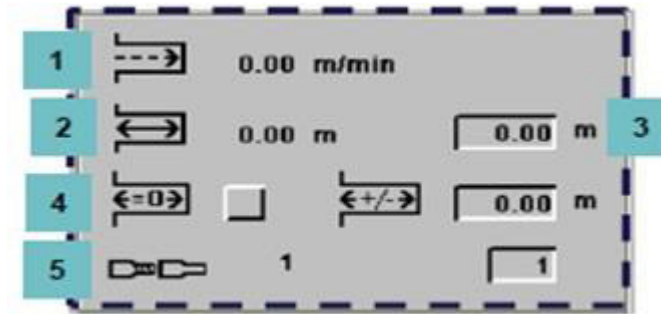


### 5.4.3 ¿Qué nos dice la pantalla?

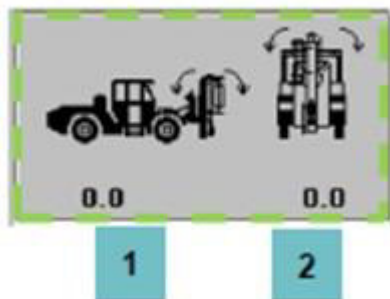


1. VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE 1.- PRESIÓN DE ACEITE LUBRICANTE
2. PRESIÓN DE AVANCE AJUSTADA 2.- PRESIÓN DE CONTRA APOYO
3. PRESIÓN DE AGUA

#### 4. PRESIÓN DE AIRE (ENTRANTE)



- 1.- Productividad
- 2.- Longitud actual de barreno
- 3.- Longitud de la barra o longitud deseada del barreno.
- 4.- Puesta a cero, para reiniciar la longitud medida.
- 5.- Número de acoples actual.



- 1.- Ángulo de inclinación medido
- 2.- Ángulo de rotación medido

#### 5.4.4 Velocidad de rotación

- Cuando se tiene rotación excesiva se tiene mayor desgaste en los botones periféricos
- La broca debe girar de modo que los botones en ella se muevan entre cada golpe, de esta manera los botones estarán cortando en la roca fresca en cada golpe.
- La correcta velocidad de rotación de la broca es importante para la tasa de penetración y vida útil del acero. 30 A 40 RPM, de acuerdo al tipo de roca.
- Una velocidad de rotación adecuada es importante para obtener una buena penetración y garantizar una elevada durabilidad de la broca, en términos generales se podría decir que para una roca dura y abrasiva la velocidad de rotación sería baja y para una roca suave y no abrasiva sería una velocidad de rotación más alta.



Figura 23. Ejemplos de presiones de avance y rotación excesivas.

#### 5.4.4.1 Monitoreo de la velocidad de rotación



Figura 24. Una velocidad de rotación adecuada, generará fragmentos de roca (detritos) de mayor dimensión.



Figura 25. Una velocidad de rotación inadecuada, generará fragmentos de roca (detritos) muy finos (polvo).

#### 5.4.5 Presión de avance



La presión adecuada del avance varía de 12 a 15 bar, dependiendo del tipo de terreno.

Insuficiente peso (avance) sobre la broca:

- Incapaz de mantener la presión del aire
- Perforación errática o irregular
- Caída en el rango de penetración
- Daño en la broca y el martillo

Excesivo peso (avance) sobre la broca:

- No incrementa la velocidad de penetración
- Acelera el desgaste de la broca
- Incrementa la carga en las unidades de rotación del equipo
- Desviación de los barrenos

Como monitorear el correcto funcionamiento:

- Movimiento de avance uniforme en la unidad de rotación
- Rotación uniforme del tubo de perforación
- No hay vibración en la zarta

- Penetración constante
- Escuche un sonido solido de percusión, (distinto a un sonido de vibración o martilleo)

#### 5.4.6 ¿Qué pasa cuando nos encontramos con “choyas”?

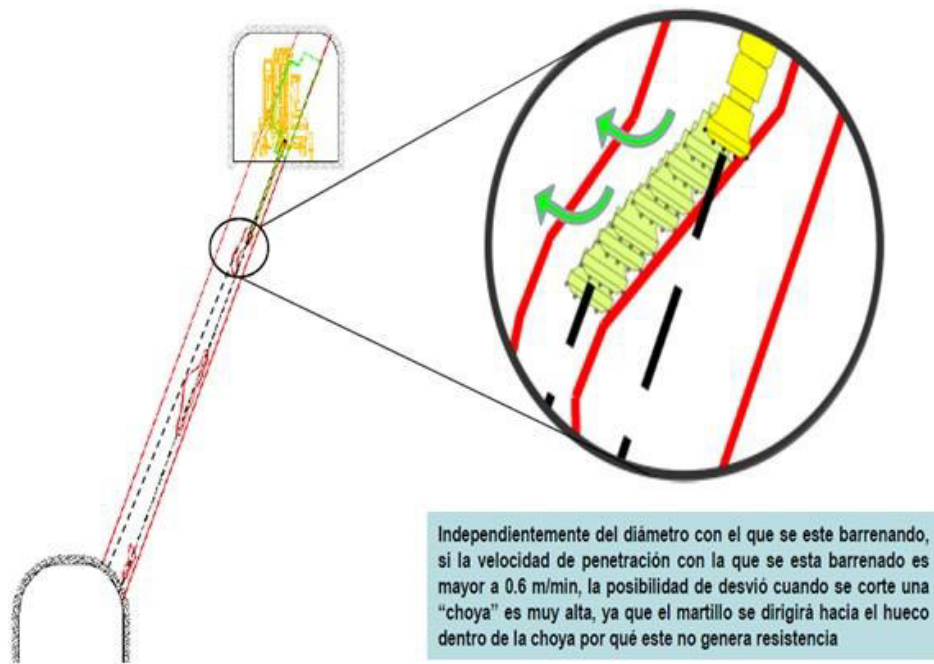


Figura 26. Ejemplo de desviación de barrenos.

#### 5.4.7 ¿En qué nos afecta el relleno durante la barrenación?

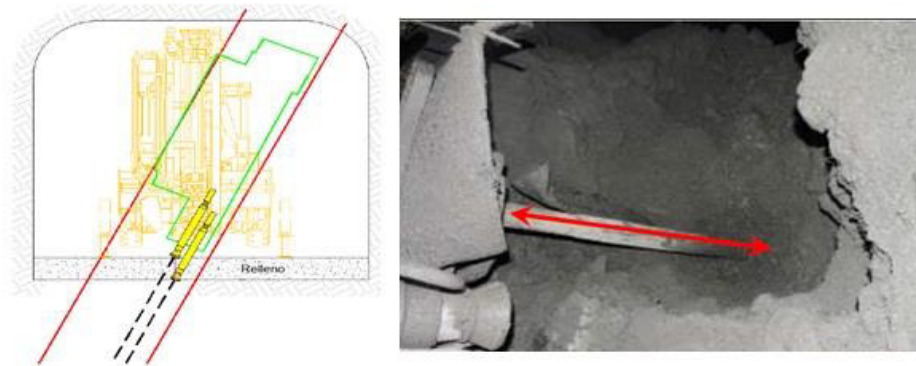


Figura 27. Ejemplo de rebaje con exceso de relleno en su nivel de barrenación

El relleno perjudica en diferentes aspectos al proceso de barrenación larga:

1. Tiempos muertos por taponamientos de la boca del barreno
2. No se rompe dónde está programado el barreno por la diferencia vertical de acuerdo al relleno.
3. Normalmente este material se considera dentro del taco provocando sobre excavación en la parte superior del banco.
4. Dilución directa al momento de minar.

#### **5.5 BARRENACIÓN.**

Una vez definidos los parámetros y listo el bloque a minar en su nivel inferior y superior, se comenzará la etapa de barrenación para la cual se utilizará un equipo Simba modelo M4C marca Epiroc, el cual se instalará donde se ha definido la salida o ranura

del bloque (límite económico) y se comenzará a barrenar un contra pozo de 9 barrenos tipo cuña con una separación entre barrenos de 50 cm, los cuales se irán disparando según convenga (se revisa en campo) para ir subiendo la ranura hasta comunicarla al nivel superior y así generar la cara libre o salida para poder ahora barrenar y disparar las líneas de producción, según nos indiquen las secciones. Es muy importante mencionar que no se podrá comunicar el contra pozo ni disparar líneas de producción si no se tiene un “colchón” de 10 metros barrenados, esto para evitar en lo posible el volver a instalar el equipo cerca del hueco.

Cabe mencionar que de acuerdo a las dimensiones y tipo de roca que tenemos en el área, se utilizará una plantilla de línea normal, ya descrita anteriormente. El diámetro de la broca es de 4.5 pulgadas y la longitud de 20 metros, por lo que se utilizarán de 11 a 12 tubos de una longitud de 1.80 metros.



Figura 28. Equipo simba modelo M4C barrenando



### 5.5.1 Voladuras.

Los explosivos están constituidos por una mezcla de sustancias, combustibles y comburentes, que, debidamente iniciadas, dan lugar a una reacción química cuya característica fundamental es su rapidez. Esta velocidad define el régimen de la reacción, que debe ser de régimen de detonación. Si no se inicia adecuadamente, el mismo producto puede desencadenar un régimen de deflagración, o incluso, de combustión, lo que implica que el comportamiento del producto no sea el deseado.

La reacción generada produce gases a alta presión y temperatura, que serán las propiedades encargadas de la fragmentación y del movimiento de la roca. Cada tipo de explosivo tiene una composición específica y definida. Esto supone que sus características son diferentes, y, en consecuencia, cada explosivo tiene una aplicación diferente en función de las necesidades de la voladura.

#### 5.5.1.1 ANFO

En la línea de reducir el contenido en nitroglicerina (o nitroglicol) del explosivo para incrementar su seguridad, surgieron los explosivos tipo ANFO (Ammonium Nitrate + Fuel Oil), explosivos compuestos por un 94 % aproximadamente de nitrato amónico que actúa como oxidante y en torno a un 6 % de gasoil que actúa como combustible. Las características de este explosivo son las siguientes:

- Baja / media potencia.
- Muy baja densidad (0,8).

- Nula resistencia al agua, ya que el nitrato amónico es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- Baja velocidad de detonación (2.000 - 3.000 m/s).
- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel o multiplicadores.

Debido a su consistencia granular y a la solubilidad del nitrato amónico, no resisten al agua, por lo que su aplicación en barrenos que contengan este elemento está totalmente desaconsejada. Por el contrario, esta consistencia granular hace que el explosivo ofrezca una importante ventaja, y es la de que resulta muy fácil la carga mecanizada del mismo. Generalmente éste producto se comercializa a granel, tanto ensacado como expedido en camión tolva para su utilización directa, si bien también se suministra encartuchado. En ocasiones se introduce cierta cantidad de polvo de aluminio metal, cuya oxidación durante la detonación es la de incrementar el calor de explosión y, por tanto, la potencia del explosivo. Se obtiene así el producto denominado ALANFO (ALuminium + Ammonium Nitrate + Fuel Oil).

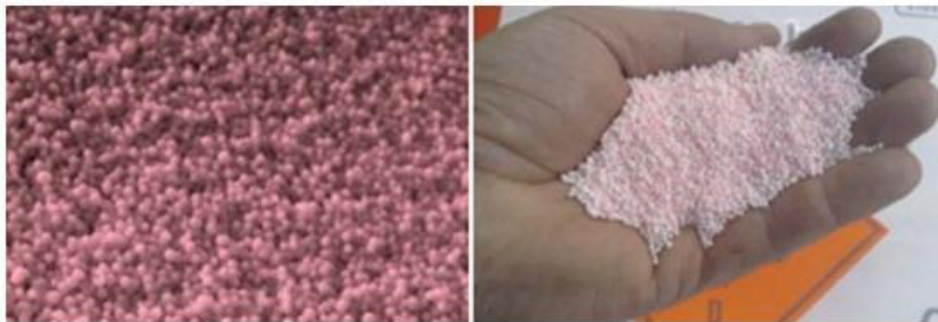


Figura 29. ANFO ó MEXAMON.

### 5.5.1.2 Hidrogeles

Al objeto de mejorar la resistencia al agua de los explosivos de base nitrato amónico, se desarrollaron los slurries o papillas explosivas. Son productos que, paradójicamente, incorporan una cierta cantidad de agua en su composición, pero fundamentalmente se trata de explosivos compuestos por un elemento oxidante ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$  o bien  $\text{NaNO}_3$ ) y otro que actúa a la vez como sensibilizador y combustible, y que puede ser un explosivo (TNT), un metal (Al) o una sal orgánica (Nitrato de Monometilamina o Nitrato de Hexamina). Ambos componentes están dispersos en una solución saturada de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  o de  $\text{NaNO}_3$  (12 - 15% agua). A esta mezcla se le suele añadir también un conjunto de sustancias espesantes, gelificantes y estabilizantes. Se conocen con el nombre de hidrogeles y se pueden presentar en forma encartuchada o incluso puede ser bombeado, a granel. Se caracterizan por:

- Elevada potencia.
- Densidad media/alta (1,2-1,3)
- Excelente resistencia al agua
- Velocidad de detonación de 3.500 a 4.500 m/s.
- Menor sensibilidad a la fricción o al impacto.

Son productos que pueden no llevar en su composición ningún producto que sea de por sí explosivo; únicamente, estos productos, reaccionan de forma explosiva en el momento que se inician con el detonador, cordón detonante o cualquier multiplicador. Las características más notables son su elevada

potencia, excelente resistencia al agua y gran seguridad en el manejo y el transporte. Por todo lo anterior este explosivo es de Aplicación en rocas de dureza media-alta, incluso con presencia de agua.

#### 5.5.1.3 Multiplicadores (booster)

Los multiplicadores (también conocidos como boosters) son iniciadores de voladura que se utilizan para iniciar explosivos de baja sensibilidad, como pueden ser anfo, hidrogeles o emulsiones, tanto si se emplean en modalidad de encartuchados o a granel. Están compuestos por un cilindro de pentolita que va envuelto con una cubierta de cartón. La pentolita es un explosivo de alta potencia formado a partir de una mezcla de petrita y de TNT, que tiene una velocidad de detonación también alta, situada en torno a los 7.500 m/s El multiplicador lleva unos orificios axiales que van rodeados de pentrita. Es por estos orificios por donde pasan los accesorios que los iniciarán: cordón detonante, detonadores, etc.



Figura 30. Booster.

#### 5.5.1.4 Nonel

El NONEL MS es un detonador no-eléctrico de retardo tipo Milisegundo, el cual está conformado por un tubo de choque de color naranja, que en uno de sus extremos posee un detonador de alta potencia y el otro extremo se encuentra sellado. Cerca del sello se encuentra un conector plástico de color blanco tipo J-Hook, con el período de retardo impreso, este conector proporciona una fácil conexión a un cordón detonante, además NONEL MS posee una etiqueta que indica el tiempo de retardo, fácil de leer, codificada con colores, que exhibe el período y el tiempo nominal de retardo en forma destacada. NONEL MS está diseñado para proveer un tiempo de retardo a cada barreno y puede ser usado tanto en aplicaciones subterráneas (no-carbón), cielo abierto, canteras y en la industria de la construcción, se puede usar en combinación con líneas troncales de cordón detonante, detonadores NONEL EZTL, NONEL EZDET y/o NONEL TD para proveer mayor flexibilidad de tiempos.

Periodo Tiempo	Retardo (mseg)	Etiqueta Color	Periodo Tiempo	Retardo (mseg)	Etiqueta Color
1	25	Rojo	9	250	Rojo
2	50	Café	10	300	Café
3	75	Verde	11	350	Verde
4	100	Azul	12	400	Azul
5	125	Naranja	13	450	Naranja
6	150	Púrpura	14	500	Púrpura
7	175	Gris	15	600	Gris
8	200	Azul			



Figura 31. Nonel MS

#### 5.5.1.5 Cordón detonante

El Cordón Detonante es un accesorio para voladura constituido por un núcleo granulado fino y compacto de pentrita PETN (pentaerythritol tetranitrate) que está recubierto con papel de características especiales, fibras sintéticas e hilos de algodón. Su cobertura exterior varía según el cordón sea simple o reforzado. Se activa generalmente por medio de un fulminante común, eléctrico o no-eléctrico. El núcleo de explosivo detonará a una velocidad de 7 000 m/s aproximadamente, creando una onda de choque que permitirá activar explosivos sensibles a detonador. Este accesorio para voladura tiene múltiples aplicaciones en

minería, canteras, movimientos de tierra y diferentes trabajos de ingeniería civil. Funciona adecuadamente en todo tipo de voladuras, independiente del diámetro y longitud del taladro.

#### Especificaciones técnicas

Características	Especificaciones
Velocidad de detonación VOD-m/s	6,650 m/s mínima
Carga de núcleo	4.40 g/m
Diámetro externo	3.00 mm
Resistencia a la tracción	50 kgf
Color del recubrimiento	Naranja
Material de recubrimiento	PVC



Figura 32. Cordón detonante

#### 5.5.1.6 Mecha de seguridad (cañuela)

La Mecha de Seguridad es uno de los componentes del sistema tradicional de voladura. Su estructura está compuesta por capas de diferentes materiales; las cuales protegen al núcleo de pólvora. Un recubrimiento final de material plástico asegura una excelente impermeabilidad y buena resistencia a la abrasión. La alta potencia de su chispa activa sin restricciones de ninguna naturaleza al fulminante, siempre y cuando se cumplan las

recomendaciones de fijar correctamente el fulminante a la mecha de seguridad.

### Especificaciones técnicas

Característica	Unidades	Especificaciones
Núcleo de pólvora	g/m	$6.00 \pm 0.20$
Tiempo de combustión a nivel del mar	s / m	$160 \pm 10$
Diámetro externo	mm	$5.00 \pm 0.15$
Recubrimiento externo		Plástico
Resistencia a la impermeabilidad		Buena
Resistencia a la abrasión		Buena

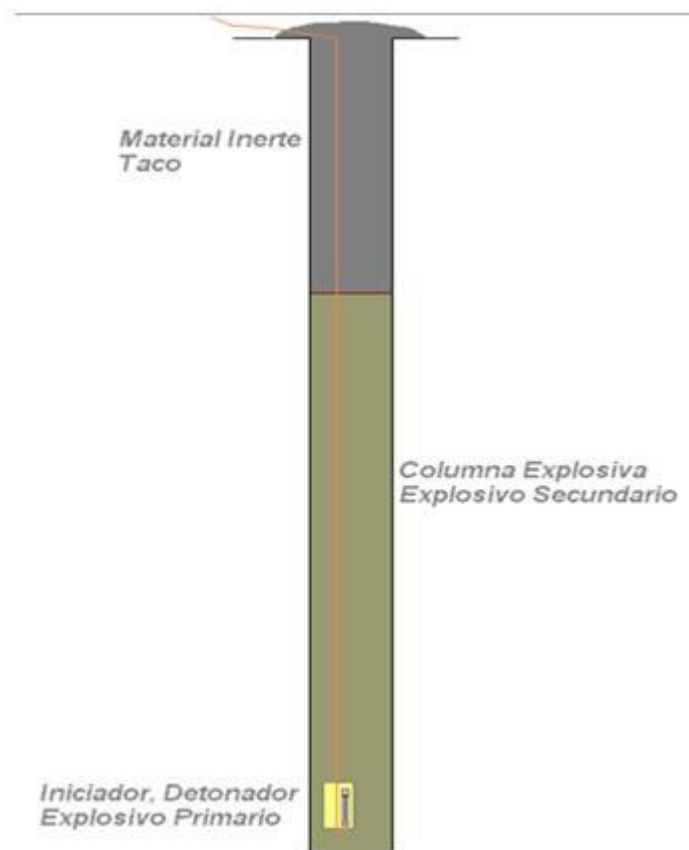




Figura 33. Representación del cargado de cada barreno



Figura 34. Material inerte utilizado para tapan el barreno después de cargado (taco).

## **5.6 EXTRACCIÓN (REZAGADO)**

Para realizar la actividad de rezagado de mineral se utilizará uno de los equipos con los que cuenta La Empresa Minera Fresnillo que a su vez tenga la cualidad de ser enlazado a un control remoto para que al ingresar el equipo al hueco generado por la barrenación larga, se haga con el uso del mismo, haciéndolo de manera segura ya que únicamente el scoop tram es el que entra al hueco quedando el operador en una zona segura. Los equipos con los que se cuenta para esta actividad en el área de San Carlos 695 son scoop tram de la marca Epiroc modelo 1030 con una capacidad estimada de 7 toneladas. Es importante mencionar que por seguridad no se pueden realizar actividades simultaneas, es decir, no se podrá extraer mineral mientras el simba esté barrenando.



Figura 35. St 1030 y control remoto utilizados en el proceso de extracción de barrenación larga.

Una vez cargado el cucharón del scoop tram, este se dirigirá hasta el cargadero, donde podrá acumular el material o bien, cargar el camión de bajo perfil directamente. Los camiones con los que se cuentan en el área son de la misma marca Epiroc, modelo MT 2010, con una capacidad estimada de 14 toneladas. Una vez cargado el mineral en el camión, este se dirige hasta una de las tolvas del área donde vaciará el mismo para posteriormente ser trasladado por trolley hasta la quebradora del tiro general donde será mantedado y procesado al llegar a la planta de beneficio.



Figura 36. Camión de bajo perfil MT 2010 utilizado en área para el acarreo a tolvas de mineral



Figura 37. Operador de scoop tram rezagando con control remoto

## VI CONCLUSIONES

Resulta satisfactorio el reconocer que el éxito de cualquier proyecto depende de un buen trabajo en equipo y la minería no es la excepción. Geología, planeación, topografía, operación mina; contratistas de zarpeo, servicios, desarrollo, comunicación, eléctricos, etc. son parte fundamental del equipo de trabajo de Minera Fresnillo, el aporte de cada una de estas áreas fue y ha sido de suma importancia para lograr el objetivo general de la empresa y sobre todo de este proyecto.

Después de analizar con este informe las actividades que se deben de realizar para la explotación de un bloque mineral dentro de la unidad Fresnillo, es necesario recalcar el hecho de que cada una de estas actividades están enfocadas a un mismo objetivo, esto es, explotar hasta la mínima onza con el máximo de seguridad lo cual, a largo plazo, se verá reflejado en mejores utilidades a un menor costo y preservando siempre el recurso más importante que existe en toda actividad minera: *el recurso humano*, cuidando las vidas y la integridad física de todos y cada uno de los colaboradores de la unidad.

Hasta ahora el proyecto sigue en pie a pesar las complicaciones que la empresa tiene en estos tiempos críticos de producción y de precios internacionales de los metales, esperamos continuar apoyando a la empresa durante largo tiempo, no sólo en este proyecto sino en muchos más.

## VII BIBLIOGRAFIA

Ordoñez Cortés, Jorge E. (1986). Minas Mexicanas. México D.F.

Pérez Ibarquengoitia, Juan Manuel (1988). Primer Siglo de Peñoles; Biografía de un éxito. México D.F.

Acosta, G. Armando. Barrenación larga por subniveles con secuencia de rebajes primarios/secundarios. Chihuahua, México 2010.

<http://www.penoles.com.mx/wPortal/faces/oracle/webcenter/portalapp/pages/home>

<http://www.fresnilloplc.com/quienes-somos/nuestra-historia/>

Bongiorno, Francisco. (1999). Índice de calidad de la roca. Santiago, Chile.

López Jimeno, Carlos. (2014). Manual de Perforación y Voladuras de Rocas. Madrid, España